

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación



Sistemas Satélite en Aeronaves.
Análisis del escenario actual y futuros
caminos de investigación e innovación.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

José Luis Coya Lozano

2012

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

**Máster Universitario en
Ingeniería de Redes y Servicios Telemáticos**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Sistemas Satélite en Aeronaves.
Análisis del escenario actual y futuros
caminos de investigación e innovación.**

Autor
José Luis Coya Lozano

Director
Francisco Javier Ruiz Piñar

Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos

2012

Resumen

El transporte aéreo se ha convertido en los últimos años en un sector de gran crecimiento, fomentado sobre todo por una gran oferta y competitividad entre las aerolíneas. Esta competitividad no sólo se centra en ofrecer tarifas más económicas, sino que las aerolíneas deben ofrecer servicios complementarios al propio billete, de forma que el producto ofrecido al cliente tenga un valor añadido respecto la oferta de la competencia. Uno de estos valores añadidos pueden ser las comunicaciones a bordo, sobre todo, la conexión a internet, en un mundo donde los usuarios son cada vez más “usuarios móviles”.

Las aeronaves siguen siendo “islas” para los pasajeros, en cuanto a telecomunicaciones se refiere. Cuando la aeronave se encuentra cerca de tierra (en fase de despegue o aterrizaje), no está permitido el uso de dispositivos electrónicos porque podrían interferir con los sistemas de la aeronave, y cuando la aeronave está en fase de crucero, no existe provisión de servicio a menos de que se disponga de una infraestructura de telecomunicaciones adecuada, y que en ocasiones, supone costes elevados. Este aislamiento de telecomunicaciones para el pasaje también lo sufren las tripulaciones técnicas y de cabina de pasajeros, de forma que muchos procedimientos mejorables con tecnología, sobre todo mediante dispositivos móviles con conexión on-line a internet, siguen siendo un desafío o sólo se pueden aplicar de forma parcial.

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad de las comunicaciones satélite para contribuir a llevar servicios internet al pasaje de una aeronave comercial, así como posibles aplicaciones en otros aspectos técnicos que permitan mejorar la operación tanto para las tripulaciones como para el personal de tierra que realiza el control de la operación. En la primera parte de este trabajo se analizarán aspectos generales de las comunicaciones satélite y qué tipo de servicios ofertan. En la segunda parte, se analizarán los sistemas de comunicaciones de las aeronaves, para mostrar las bases de los exigentes requerimientos necesarios a la hora de definir nuevos servicios. Y en la tercera parte y final, se mostrarán las aplicaciones para pasaje y para el soporte a la operación, analizando tanto soluciones existentes en el mercado como posibles soluciones a desarrollar como nuevos caminos de investigación.

Abstract

Air transport has become in recent years an area of high growth, encouraged mainly by a large offer and competitiveness between airlines. This competitiveness not only focuses on offering good prices, the airlines must offer complementary services in addition to the tickets, in a way to improve the product offered to the customer: a ticket with a value-added advantage, with regard over the offer of the rest of competitors. One of these added values can be telecommunications on board, mainly, the connection to the Internet. In the present world, the costumers are increasingly in a mobile service way: the users are "mobile users".

When we are studying communications in aircrafts, one thing is clear: aircrafts are still "islands" for IT & TELCO services. When the aircraft is near ground (takeoff or landing phase), the use of electronic devices is not permitted because they might interfere with the aircraft systems. When the aircraft is in cruise phase, there is no provision of service unless adequate telecommunications infrastructure, with high costs and complicated technical requirements. This isolation of telecommunications for the passage also affects the passenger cabin and technical crews. Several procedures could be improved with technology (especially through mobile devices connected on-line to the internet), but continue being a challenge for the aircraft's constructors and services providers, because most solutions can only be developed partially.

The aim of this work is to study the feasibility of satellite communications to help bringing internet services to the passage of a commercial airline, and other applications in order to improve technical process for the execution and control of the flight operations. The first part of this work will study general aspects of satellite communications and what type of services can be offered. On the second part, the focus point will be the aircraft's communication systems, to understand the technical requirements to define new services. Finally, on the third part, it will be studied systems and applications to provide services to the passage and to the control and support the flight operation. On this chapter, some analyzed solutions can be available in the market, but it will be studied new proposals that can be researched and developed in a near future.

Índice general

Resumen	1
Abstract	3
<i>Índice General</i>	5
<i>Índice de figuras</i>	12
<i>Siglas</i>	15
I. Introducción	17
II. Conceptos generales acerca de un sistema satélite	20
2.1 Tipos de satélite y órbitas	20
2.1.1 <i>Satélites artificiales</i>	20
2.1.2 <i>Configuración básica</i>	21
2.1.3 <i>Recepción en tierra</i>	23
2.1.4 <i>Cobertura del satélite. Concepto de retardo</i>	24
2.1.5 <i>Lanzamiento y posicionamiento en órbita</i>	26
2.1.6 <i>Satélite en órbita GEO</i>	28
2.1.7 <i>Satélite en órbita MEO</i>	29
2.1.8 <i>Satélite en órbita LEO</i>	29
2.1.9 <i>Satélite en órbita HEO</i>	30
2.2 Satélite transparente y con procesado a bordo.....	30
2.2.1 <i>Satélite transparente</i>	30
2.2.2 <i>Satélite regenerativo o con procesado a bordo</i>	31

2.3	Enlace intersatélite.....	31
2.4	Tipos de arquitecturas satélite.....	32
2.4.1	<i>Arquitectura de tipo estrella.....</i>	32
2.4.2	<i>Arquitectura de tipo malla.....</i>	32
2.4.3	<i>Arquitectura de tipo mixto.....</i>	32
2.5	Interconexión con redes terrestres (fija y móvil).....	33
2.6	Servicios satélite más extendidos.....	34
2.6.1	<i>Difusión de TV.....</i>	34
2.6.2	<i>Servicios multimedia audio y vídeo.....</i>	34
2.6.3	<i>Servicios de datos.....</i>	34
2.7	Servicios de nueva generación.....	35
III.	IP sobre red satélite.....	37
3.1	Escenario IP sobre red satélite.....	37
3.2	Factores a considerar.....	38
3.2.1	<i>Interconexión con red terrestre.....</i>	39
3.2.2	<i>Eficiencia en la transmisión de datos.....</i>	39
3.2.3	<i>Calidad de servicio.....</i>	40
3.2.4	<i>Gestión de la movilidad.....</i>	40
3.2.5	<i>Gestión de los servicios ofertados.....</i>	40
3.3	Calidad de Servicio.....	41
3.3.1	<i>Tráfico elástico.....</i>	42
3.3.2	<i>Tráfico no elástico.....</i>	42
3.3.3	<i>Arquitecturas de calidad de servicio IP.....</i>	43
3.3.4	<i>Arquitecturas de calidad de servicio IP sobre red satélite.....</i>	44

3.4	Servicios IP: voz, imagen, datos.....	46
3.4.1	<i>Servicios de voz.....</i>	46
3.4.2	<i>Servicios de imagen.....</i>	46
3.4.3	<i>Servicios interactivos.....</i>	47
3.4.4	<i>Servicios de datos.....</i>	48
3.4.5	<i>IP multicast.....</i>	48
IV.	Conceptos generales acerca de las aeronaves y sus sistemas.....	49
4.1	Concepto general de aeronave.....	49
4.2	Particularidades de diseño de aeronaves. Seguridad.....	50
4.2.1	<i>Principales organismos internacionales de la aviación comercial.....</i>	51
4.2.2	<i>Principales organismos nacionales de la aviación comercial.....</i>	53
4.3	Gestión del tráfico aéreo.....	54
4.4	Sistemas de información y comunicaciones de las aeronaves.....	55
4.4.1	<i>Sistemas de información y control.....</i>	55
4.4.2	<i>Sistemas de comunicaciones.....</i>	57
4.5	Control operacional: plan, vigilancia y seguimiento de vuelos.....	63
4.5.1	<i>Planificación de vuelos.....</i>	63
4.5.2	<i>Vigilancia de Vuelos.....</i>	63
4.5.3	<i>Seguimiento de Vuelos.....</i>	64
V.	Aplicaciones en aeronaves (I): sistemas en cabina	65
5.1	Escenario actual de la aviación comercial.....	65
5.1.1	<i>La crisis y la aviación comercial.....</i>	65
5.1.2	<i>El fenómeno "low cost".....</i>	66

5.1.3	<i>Estrategias para competir mejor</i>	66
5.2	Problemática de las comunicaciones en cabina.....	69
5.2.1	<i>Equipos electrónicos portátiles en la aeronave. Precauciones</i>	69
5.2.2	<i>Equipos de entretenimiento off-line</i>	70
5.3	Modelo de comunicaciones en cabina.....	71
5.3.1	<i>Servicios demandados</i>	71
5.3.2	<i>Comunicaciones radio en la aeronave y ajuste de frecuencia</i>	74
5.3.3	<i>Provisión de servicio</i>	75
5.3.4	<i>Primeros diseños de servicio: DLR (2004)</i>	79
5.4	Solución para comunicaciones de voz.....	82
5.4.1	<i>Servicios de voz para pasajeros. Problemáticas y alternativas</i>	82
5.4.2	<i>Solución para comunicaciones de voz: red GSM a bordo (GSMOBA)</i>	83
5.5	Estado del arte: comunicaciones de datos a bordo.....	87
5.5.1	<i>Servicios de datos para pasajeros</i>	87
5.5.2	<i>Diseño general de la solución</i>	87
5.5.3	<i>Algunas soluciones propuestas por fabricantes</i>	90
5.6	Ventajas e inconvenientes de las soluciones a bordo.....	94
5.7	Caso práctico: servicio de datos para flota de largo radio.....	95
5.7.1	<i>Datos de las aeronaves y destinos</i>	95
5.7.2	<i>Tipos de servicio</i>	97
5.7.3	<i>Cobertura y provisión de servicio</i>	104
5.7.4	<i>Modelo de tarificación y venta</i>	105
VI.	Aplicaciones en aeronaves (II): sistemas de soporte a la operación	107
6.1	Conceptos generales de la vigilancia de vuelo.....	107

6.1.1	<i>Plan de vuelo</i>	107
6.1.2	<i>Vigilancia de vuelo</i>	109
6.2	Sistemas de vigilancia. Desafíos pendientes.....	110
6.3	Vigilancia satélite de nueva generación.....	112
6.4	Equipos de nueva generación para aeronaves.....	114
6.4.1	<i>Concepto e historia del EFB</i>	114
6.4.2	<i>Posibilidades del EFB</i>	117
6.4.3	<i>Algunas soluciones EFB comercializadas</i>	119
VII.	Conclusiones y trabajos futuros	124
	Bibliografía	126

Índice de figuras

Figura 1	<i>Satélite artificial y partes principales</i>	Página 21
Figura 2	<i>Esquema de cobertura de un satélite y “spotbeams”</i>	Página 25
Figura 3	<i>Planos de las órbitas</i>	Página 27
Figura 4	<i>Proyección sobre la esfera terrestre</i>	Página 28
Figura 5	<i>Interconexión red terrestre y satélite</i>	Página 33
Figura 6	<i>Modelo de servicio satélite, directo o integrado con IGWs</i>	Página 38
Figura 7	<i>Tipos de tráfico: BE, tiempo real tolerante y no tolerante</i>	Página 43
Figura 8	<i>Esquema de comunicaciones ACARS</i>	Página 60
Figura 9	<i>Comunicaciones según la fase del vuelo OOOI</i>	Página 61
Figura 10	<i>Partes del cockpit de una aeronave del constructor Airbus</i>	Página 62
Figura 11	<i>Fases de revisión</i>	Página 70
Figura 12	<i>Fases de diseño</i>	Página 71
Figura 13	<i>Tipos de servicio</i>	Página 72
Figura 14	<i>Clases de servicio</i>	Página 72
Figura 15	<i>Servicios demandados</i>	Página 73
Figura 16	<i>Cuadro de frecuencias</i>	Página 74
Figura 17	<i>WiFi y estándar IEEE 802.11</i>	Página 75
Figura 18	<i>Esquema simple de provisión de servicio SATCOM a aeronaves</i>	Página 76
Figura 19	<i>Posición de las antenas</i>	Página 77
Figura 20	<i>Airbus A380</i>	Página 77
Figura 21	<i>Línea geodésica entre los puntos (A) y (B)</i>	Página 78
Figura 22	<i>Ángulos relativos de la aeronave respecto del satélite</i>	Página 79
Figura 23	<i>Perfiles simulados en el trabajo de estimación de caudal del DLR</i>	Página 80
Figura 24	<i>Resultados de la simulación para cada aeronave</i>	Página 80

Figura 25	<i>Estimaciones de caudal para cada modelo de aeronave “wide body”</i>	Página 81
Figura 26	<i>Esquema general de una GSMOBA</i>	Página 83
Figura 27	<i>Diagrama de estados de la GSMOBA</i>	Página 84
Figura 28	<i>Tabla de frecuencias GSMOBA</i>	Página 84
Figura 29	<i>Solución GSMOBA descrita por KID-SYSTEME</i>	Página 86
Figura 30	<i>Esquema de funcionamiento de la WLAN a bordo</i>	Página 88
Figura 31	<i>Esquema de ubicación de WAPs</i>	Página 89
Figura 32	<i>Servicios y aplicaciones ofertados por Inmarsat</i>	Página 90
Figura 33	<i>Cobertura de Inmarsat</i>	Página 91
Figura 34	<i>Servicios para aerolíneas comerciales de On Air</i>	Página 92
Figura 35	<i>Servicios de comunicaciones a bordo de Thales IFS</i>	Página 93
Figura 36	<i>Zona de vuelo de la flota</i>	Página 96
Figura 37	<i>Tráfico (medio) en una situación de uso medio y con stress (por aeronave)</i>	Página 101
Figura 38	<i>Tráfico (medio) en una situación media, con stress y con el contrato.</i>	Página 103
Figura 39	<i>Provisión de servicio Inmarsat</i>	Página 104
Figura 40	<i>Captura del seguimiento gráfico del hub de Miami</i>	Página 109
Figura 41	<i>Esquema de funcionamiento del ADS de Astrium</i>	Página 113
Figura 42	<i>Cockpit de un Airbus A350 con un EFB</i>	Página 119
Figura 43	<i>Cockpit de un Airbus A380 con un EFB</i>	Página 119
Figura 44	<i>EFB de Lufthansa Systems</i>	Página 120
Figura 45	<i>Aplicaciones EFB para iPad de Jeppesen</i>	Página 121
Figura 46	<i>Aplicaciones EFB de Aviobook</i>	Página 122
Figura 47	<i>EFB de American Airlines en un Boeing 777</i>	Página 123

Siglas

DVB-S	<i>Digital Video Broadcasting by Satellite</i>
E2E	<i>End to End</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
FANS	<i>Future Air Navigation Systems</i>
SESAR	<i>Single European Sky ATM [Air Traffic Management] Research</i>
ATM	<i>Air Traffic Management</i>
VSAT	<i>Very Small Aperture Terminal</i>
{G, M, L, H}EO	<i>{Geostationary, Medium, Low, Highly Elliptical} Earth Orbit</i>
UME	<i>Unidad Militar de Emergencias (Ejercito de España)</i>
ISL	<i>Inter-Satellite Link</i>
IGW	<i>Internetworking Gateways</i>
DVB-RCS	<i>Digital Video Broadcasting – Return Channel Satellite</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>
RFID	<i>Radio Frequency IDentification</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
BSM	<i>Broadband Satellite Multimedia</i>
OBP	<i>On-board Proccesing</i>
IntServ	<i>Integrated Services</i>
DiffServ	<i>Differentiated Services</i>
BE	<i>Best Effort</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
TELCO	<i>Telecomunicaciones (referido a sector y/o actividad)</i>
SATCOM	<i>Satellite Communications</i>
EIS	<i>Electronic Instruments System</i>
ECAM	<i>Electronic Centralized Aircraft Monitoring</i>

EFIS	<i>Electronic Flight Instrument System</i>
PFD	<i>Primary Flight Display</i>
ND	<i>Navigation Device</i>
FMS	<i>Flight Management System</i>
FBW	<i>Fly by Wire</i>
IRS	<i>Inertial Reference System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ACARS	<i>Aircraft Communications Addressing and Reporting System</i>
ATSU	<i>Air Traffic System Unit</i>
TCAS	<i>Traffic alert and Collision Avoidance System</i>
PED	<i>Portable Electronic Device</i>
DLR	<i>Deutschland für Luft- und Raumfahrt (German Aerospace Center)</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>
GSMOBA	<i>GSM On Board Aircraft (referido a red GSM a bordo de una aeronave)</i>
NCU	<i>Network Control Unit</i>
WAP	<i>Wireless Access Point</i>
KB	<i>Kilobytes</i>
Kbyte	<i>Kilobytes</i>
Kbps	<i>Kilobits por segundo</i>
EFB	<i>Electronic Flight Bag</i>

1 Introducción.

La tecnología de telecomunicaciones mediante satélite es una parte fundamental en un mundo donde cada vez cobra más protagonismo la comunicación radio. La extensión de servicios radio y de dispositivos móviles es cada vez mayor, invadiendo todos los aspectos de nuestro entorno social, y demandando nuevas soluciones técnicas.

En muchas partes de nuestro mundo no es tan fácil llevar la tecnología móvil sin una inversión en infraestructuras considerable, por lo que tiene bastante sentido analizar la alternativa de comunicaciones por satélite, ofreciendo los mismos servicios con una calidad similar, y con un coste razonable. Las principales ventajas de la tecnología satélite son:

- Llegar a sitios donde la tecnología terrestre es demasiado cara (zonas alejadas, con poca densidad de población, zonas en desarrollo, zonas marítimas, etc.).
- Despliegue rápido (sin depender de que exista un ISP terrestre).
- Posibilidad de ofrecer servicios de multidifusión (multicast), como puede ser la teleeducación, teleconferencia, etc.

En un escenario de interconexión de servicios fijos y móviles, las alternativas por satélite pueden cubrir de forma solvente algunas de las necesidades demandadas. Este campo de estudio supone desafíos tanto a investigadores como a fabricantes.

La mayor aplicación de la tecnología satélite ha sido la transmisión de datos mediante sistemas DVB-S y DVB-S2, pero los satélites de nueva generación disponen de más capacidades que les permiten ofrecer muchos tipos de servicio. Una de las aplicaciones es ofrecer servicios IP, interconectando red terrestre (fija o móvil) con red satélite, introduciendo el segmento satélite en el principio E2E del versátil protocolo IP, con requerimientos de calidad de servicio, QoS. El trabajo fin de máster propuesto por el autor enmarca este tipo de aplicaciones satélite en un caso concreto, pero no por ello menos interesante: desarrollar servicios IP a bordo de aeronaves.

Estos servicios se orientan en dos vertientes:

- I. El tráfico aéreo mundial se hace cada vez más intenso, gracias a que las tarifas comerciales se han vuelto muy interesantes para todo tipo de clientes, tanto de pequeño como de gran poder adquisitivo. Pero no sólo de tarifas vive la aviación comercial. La competición por reducción de costes no es sostenible, por lo que las compañías se ven obligadas a buscar servicios de valor añadido para el pasaje.

Algunos de estos servicios ya están extendidos en los ferrocarriles de alta velocidad (competidor para las líneas de aviación comercial de corto radio), por lo que se hace necesario competir de alguna forma. Ofrecer al pasaje la posibilidad de conectarse a internet dentro de una aeronave, puede ser una ventaja estratégica fundamental, sobre todo para el pasaje business de largo radio, que debe pasar muchas horas en el avión, y que aprovecharía su tiempo trabajando o con entretenimiento mediante aplicaciones HTTP.

- II. La otra vertiente está relacionada con la vigilancia y control de la aeronave. Cuando las aeronaves están en las cercanías de los sistemas de control aéreo de tierra, los sistemas radio (sobre todo radar y sistemas VHF) son suficientes para el control y vigilancia de las aeronaves. Pero en rutas de largo radio, que implican un largo recorrido por encima del océano y sin sistemas radio cercanos, hay que apoyarse en sistemas satélite para controlar la situación y estado de la aeronave.

Estas aplicaciones pasan por analizar y desarrollar sistemas de vigilancia que utilicen servicios por satélite y que permitan una interconexión con el sistema tradicional de control de tráfico aéreo. Notar que el sistema de tráfico aéreo también está evolucionando hacia sistemas IP, en las iniciativas que en el mundo de la aviación se conocen como FANS (Future Air Navigation Systems). En Europa varios gobiernos, organismos reguladores y empresas lideran una de éstas iniciativas, el proyecto SESAR (Single European Sky ATM [Air Traffic Management] Research). Por lo tanto, tiene sentido que los sistemas de vigilancia satélite se desarrollen por IP, interconectando con los sistemas terrestres futuros por IP.

El objetivo del autor es realizar un análisis riguroso del actual escenario de soluciones técnicas existentes en estas dos vertientes, estudiando las que están empezando a comercializarse. El autor propondrá un caso práctico de diseño de un servicio de datos para el pasaje de una flota de aeronaves de largo radio.

2 Conceptos generales acerca de un sistema satélite.

A lo largo de este capítulo se describirán aspectos generales de un sistema satélite, con objeto de que el lector pueda entender conceptualmente todos los aspectos mencionados. Entenderemos en todo momento que estamos considerando satélites de comunicaciones, esto es, satélites artificiales cuyo principal objetivo es prestar un servicio de telecomunicación, como puede ser la difusión de TV, servicios multimedia tipo audio o vídeo (voz sobre IP, teleconferencia, educación on-line), o bien servicios de datos, como puede ser el correo electrónico o la navegación web.

Los satélites están diseñados con una misión concreta (navegación, meteorología, telecomunicación, servicios de defensa, etc.). En este trabajo se estudiarán los satélites de telecomunicaciones.

2.1 Tipos de satélite y órbitas.

2.1.1 Satélites artificiales.

Un satélite artificial es una nave espacial no tripulada que realiza una determinada misión, operando desde una órbita alrededor de la tierra. La misión del satélite es la que determina todos los principales aspectos de su naturaleza, en cuanto a electrónica, órbita que ocupará, vida útil, etc. Las principales misiones que realiza un satélite pueden ser asistencia a la navegación en la tierra, meteorología, telecomunicaciones, observación científica (observación terrestre y/o espacial), defensa [9].

En el caso de un satélite de telecomunicaciones, el principal motivo de su naturaleza es realizar las operaciones necesarias para dar soporte a la telecomunicación allí donde no hay equipamiento en tierra que la permita, por eso su importancia es vital: los satélites de telecomunicaciones permiten operar donde, habitualmente, no hay otro medio de llevar comunicaciones al usuario.

A medida que la electrónica, las telecomunicaciones y la tecnología aeroespacial han ido evolucionando, y la capacidad de tratamiento de servicios de comunicaciones como servicios digitales, los satélites se han convertido en estaciones de comunicaciones espaciales, con diferentes tipos de servicios y posibilidades, siendo, en unos casos, alternativa a los servicios de tierra, o bien complementándolos.

Los satélites artificiales son uno de los mayores logros tecnológicos de la humanidad, uniendo dos mundos en continua evolución y con continuos desafíos: la tecnología aeroespacial y la tecnología de las telecomunicaciones.

2.1.2 Configuración básica.

La configuración de un satélite, básicamente, consta de las siguientes partes:

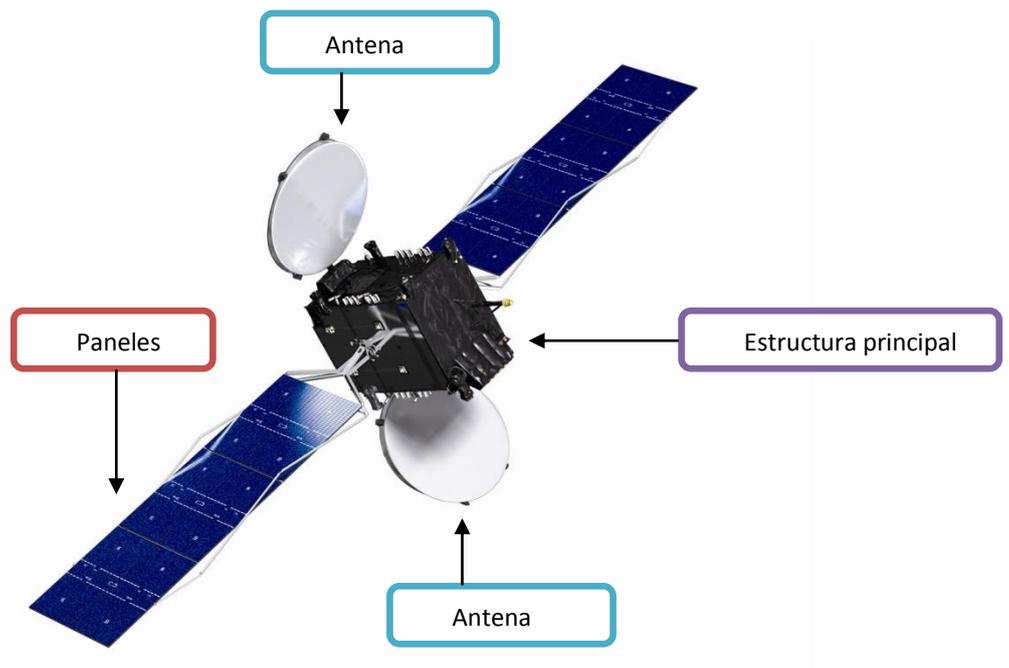


Figura 1. Satélite artificial y partes principales [9].

- ☑ **Paneles solares:** permiten la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica, que será acumulada en las baterías del satélite. Estas baterías alimentan toda la electrónica del satélite. Es importante que estos paneles estén en continuo movimiento para optimizar la captación de radiación solar.
- ☑ **Antenas:** Permiten la operación de los sistemas de comunicaciones, tanto para emisión como para recepción de señal.
- ☑ **Estructura principal:** Dentro de la estructura principal están incluido todo el núcleo de funcionamiento del satélite. Las partes principales son:
 - *Control de temperatura y condiciones térmicas.* Los satélites deben llevar un sistema de control de temperatura, ya que en condiciones de excesiva radiación solar pueden someterse a temperaturas elevadas, consecuentemente, es necesario un sistema de control de temperatura y refrigeración.
 - *Fuente de energía.* Sistema que permite acumular energía mediante los paneles solares, y acumularla en las baterías, para su consumo en la electrónica de la nave. La idea es que el satélite disponga de energía de forma autónoma.
 - *Sistema de conmutación de señales de control.* Formado por traspondedores y antenas, permite la gestión de las señales de comunicaciones con el satélite, con objeto de vigilar y realizar el seguimiento de la misión.
 - *Control de navegación.* Sistema de posicionamiento y guiado del satélite, con objeto de mantener el satélite en posición o modificarla, según su programación primera, o siguiendo órdenes desde la tierra. El satélite dispone de pequeños motores de propulsión, que, combinando esta acción con la velocidad de rotación en la órbita, altera la posición del satélite para cualquier tarea que lo precise.
 - *Equipo específico de la misión.* Equipo específico según la misión del satélite (comunicaciones, defensa, científico, etc.). En el caso de un satélite de comunicaciones, serían antenas y traspondedores adicionales a los necesarios para la operación básica del satélite.

- *Computadora central.* Esta computadora gestiona todos los procesos y tareas de la misión, con objeto de que todos los sistemas funcionen de manera correcta e informar al control de tierra en caso de que se precisen intervenciones de cualquier tipo (operativas o para resolver incidencias).

La banda de frecuencia en la que opera un satélite suele ser bastante amplia. En la siguiente tabla figura el esquema habitual de frecuencias [10].

Tabla 1. Bandas y frecuencias de operación vía satélite [10].

Frecuencias principales de comunicaciones vía satélite (GHz)

Banda	Uplink	Downlink	Apodo
L	1,6265-1,6605	1,530-1,559	Mobile
S	2,655-2,680	2,500-2,655	2,5
C	5,925-6,425	3,700-4,200	6/4
X	7,900-8,400	7,250-7,750	8/7
Ku	14,000-14,500	10,950-11,200 11,450-11,700	14/11
Ku	14,000-14,500	11,700-12,200	14/12
	17,300-18,100	12,200-12,700	DBS
Ka	27,500-30,000	17,700-20,200	30/20

2.1.3 Recepción en tierra.

La recepción de la señal en tierra precisa disponer del equipo adecuado. En este caso, se precisa disponer de una estación con una antena que sea capaz de procesar la señal emitida desde el satélite (o de enviarla, en caso de que la señal se envíe desde tierra al satélite). La zona de cobertura suele ser muy amplia, con lo que la interceptación de señal es muy probable: la encriptación de la señal es una necesidad [11].

Las antenas de las estaciones en tierra, usualmente parabólicas, han evolucionado a lo largo de los años y han ido reduciendo su tamaño. En el caso de servicios más especializados o profesionales, científicos o militares, las antenas de las estaciones terrenas pueden ser de un diámetro considerable.

Pero en el caso de servicios de usuario final como puede ser la TV satélite o conexiones domésticas o empresariales por satélite, se utilizan antenas parabólicas de diámetros de entre 0,5 y 1,5 metros, lo que ha hecho que se conviertan en una imagen bastante fácil de identificar en los tejados de los edificios. Este tipo de antenas se denominan VSAT (“very small aperture terminal”) [10].

En los seminarios de investigación de los cursos de doctorado de la ETSIT-UPM del curso 2010-2011, se realizó una descripción del funcionamiento de un caso real interesante, que es el de la Unidad Militar de Emergencias del Ejército de Tierra (UME). La UME es capaz de instalar una pequeña red de equipos portátiles conectada a servicios satélite mediante un vehículo con una antena satélite que hace de hub de la red, disponiendo de servicios de voz y datos. Este ejemplo ilustra la capacidad de los servicios satélite de llevar telecomunicaciones a dónde no las hay, como puede ser una región o zona afectada por un fenómeno o desastre natural [12].

2.1.4 Cobertura del satélite. Concepto de retardo.

La zona de la tierra sobre la que el satélite provee de señal se denomina **huella** (“footprint” en inglés). La cobertura que ofrece un satélite depende de su potencia de envío y recepción de señal, y de su posición relativa a la tierra según la órbita que ocupe. En terminología de tecnología satélite, la cobertura o huella se divide en regiones más pequeñas, en una analogía a las celdas de la tecnología móvil, que se denominan “**spotbeams**”.

En la siguiente figura se puede ver esquemáticamente los conceptos de huella y “spotbeams”.

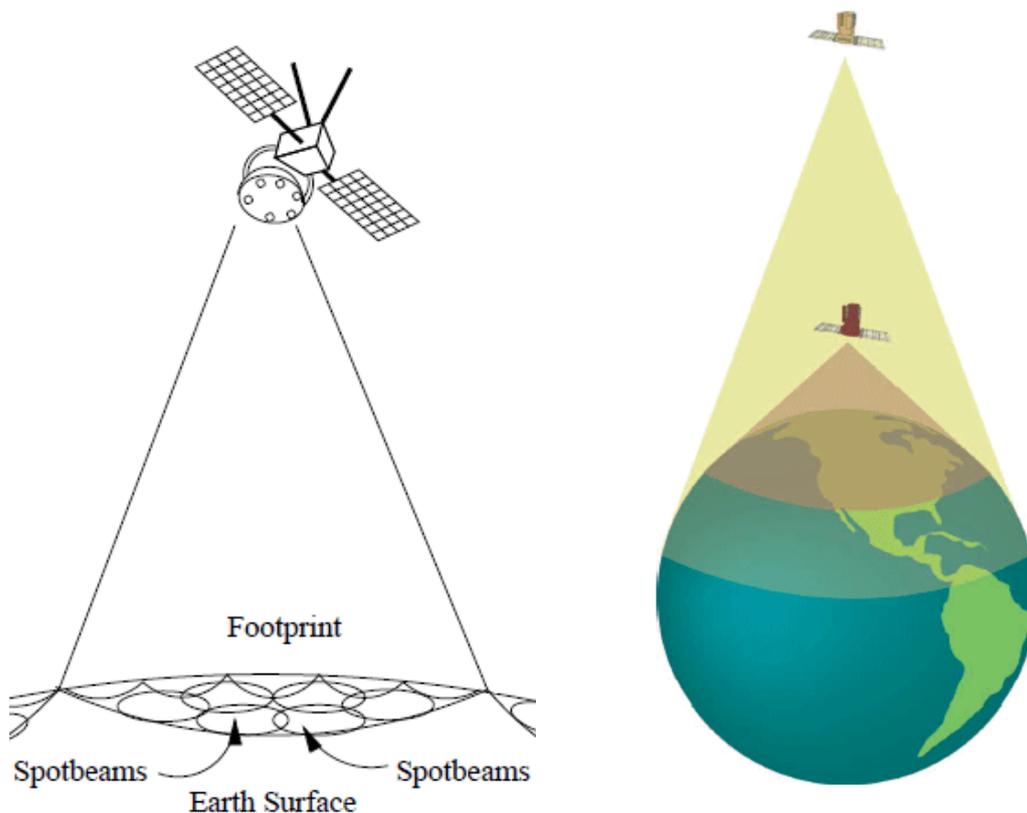


Figura 2. Esquema de cobertura de un satélite y “spotbeams” [9].

Estas regiones son necesarias para la gestión de servicios, pues una de las consideraciones a tener en cuenta es que el satélite se mueve y también el equipo de tierra (sea fijo ó móvil), por lo que debe gestionarse la comunicación en itinerancia, lo que en el mundo de la telecomunicación móvil se denomina “handover” (traspaso).

Un concepto importante es el concepto de **retardo**. Los satélites están a una distancia considerable respecto la tierra, y aunque la señal se propaga a 300.000 Km./seg., según la distancia a la que se encuentre el satélite habrá un retardo en el camino que recorre la señal, que será variable en función del radio de la órbita y de la ubicación del terminal. Este aspecto es importante a la hora de ofrecer servicios on-line que precisen la emisión de imagen o de voz, pues en ese caso, el retardo y la latencia pueden afectar de manera considerable a la calidad del servicio. El retardo oscila entre 8 milisegundos para los satélites de órbita baja, a los 250 milisegundos para satélites en órbita estacionaria.

2.1.5 Lanzamiento y posicionamiento en la órbita.

Los satélites se construyen y montan en tierra, por constructores especializados, y bajo un proceso industrial muy tecnológico y meticuloso. Cualquier proceso que no se realice con un rigor extremo puede generar un mal funcionamiento, que, una vez puesto el satélite en órbita, puede no tener solución.

Para colocar un satélite en la órbita en la que deba operar, se precisa la asistencia de un cohete de lanzamiento. Estos cohetes, diseñados y contruidos por compañías de tecnología aeroespacial, realizan la labor de colocar al satélite en la órbita. Una vez situado en la órbita (que habrá sido establecida de antemano), el satélite empezará a realizar las operaciones relacionadas con su misión. Los costes de lanzamiento están asociados al peso y tamaño del satélite, y dependen también de la órbita de destino. Este intervalo de costes puede oscilar entre 4.000 \$/Kg. para órbitas bajas y tamaños reducidos, hasta 40.000 \$/Kg. para satélites de mayor tamaño y órbitas alejadas [9]. Debe tenerse en cuenta que hay satélites de decenas de kilos, de cientos, y de varias toneladas. Habitualmente se consideran satélites “grandes” los que sobrepasen los 1.000 Kg.

Debe tenerse en cuenta que los satélites ocuparán una determinada órbita, a veces compartida con otros satélites, por lo que ocupar una órbita está sujeto a unas condiciones de movimiento concretas. Los satélites se mueven con una velocidad angular que depende de la distancia relativa a la tierra, siendo esta velocidad menor cuanto mayor sea esta distancia.

Tabla 2. Velocidad angular según el radio de la órbita [9].

Altitude (km)	Orbital Speed (km/s)
200	7.8
500	7.6
1,000	7.4
5,000	5.9
10,000	4.9
Semisynchronous: 20,200	3.9
Geosynchronous: 35,800	3.1

Los satélites se encuentran bajo la atracción de la fuerza de gravedad terrestre, por lo que están dotados de pequeños motores de propulsión que permitirán rectificar su posición en función de variaciones debidas a alteraciones entre la relación de la fuerza de atracción de la tierra y la velocidad angular con la que se recorre la órbita. El objetivo es mantener el satélite en la órbita planificada, con el menor consumo de energía y recursos del satélite. Desde el punto de vista operacional, como equipo aeroespacial, el satélite debe entenderse como un equipo independiente, con movimiento asistido desde tierra.

Las órbitas de un satélite se diseñan como órbitas circulares centradas en la tierra, pero debe tenerse en cuenta, según las leyes de Kepler, que las órbitas en el espacio son elipses (de la que la circunferencia es un caso particular), por lo que puede haber una configuración de órbita con forma elíptica (se verá este aspecto en el caso de satélites HEO).

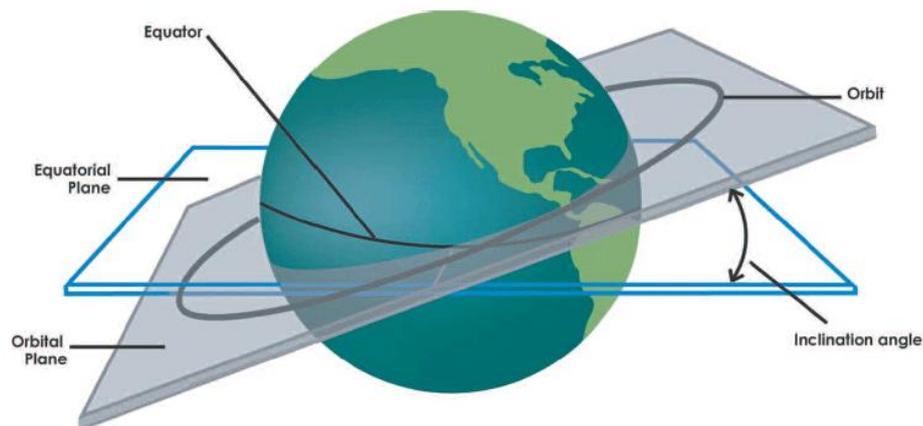


Figura 3. Planos de las órbitas. Puesto que una órbita está contenida en un plano, una forma de “repartir” satélites en una misma región es situarlos en planos diferentes. Esta estrategia es útil en órbitas que se encuentren con mucho tráfico de satélites [9].

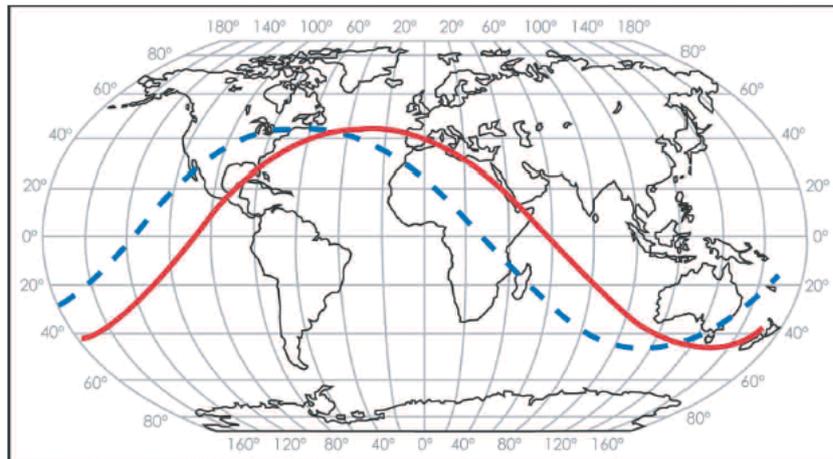


Figura 4. Proyección sobre la esfera terrestre. Cuando se proyecta la trayectoria de un satélite sobre la esfera terrestre (línea continua), la trayectoria recorrida es sinusoidal, ya que hay que considerar el movimiento del satélite y la rotación de la tierra, que pueden tener periodos distintos. En el siguiente paso del satélite, no se solapa debido a estas diferencias de periodo (línea discontinua) [9].

2.1.6 Satélite en órbita GEO.

Una de las órbitas más importantes para ofrecer servicios satélite es la que se denomina geostacionaria, "GEO" {Geostationary Earth Orbit}. Esta órbita es única, situada en el plano ecuatorial, y aproximadamente a 35.800 Km. de la superficie terrestre, teniendo como características generales:

- ☑ El periodo de rotación del satélite es de un día sideral (23 h 56 mins. 4,901 seg.).
- ☑ En esta órbita, el observador terrestre verá el satélite siempre situado en la misma posición, por lo que facilita consideraciones en cuanto a la gestión del servicio de telecomunicaciones a ofrecer, ya que ofrece el máximo porcentaje de superficie terrestre sobre la que ofrecer cobertura (aproximadamente el 35%).

Esta órbita está saturada debido a la demanda de posibles proveedores de servicio, por lo que su utilización requiere el consenso entre los fabricantes, para evitar posibles interferencias entre los servicios ofrecidos por los diferentes proveedores. El retardo medio entre los 250 y 270 milisegundos.

En cuanto a cobertura, los servicios desde la órbita GEO cubren casi toda la tierra a excepción de latitudes por encima de 60° N/S, con lo cual las zonas cerca de las regiones polares quedarían sin servicio. Un ejemplo de satélites GEO son el Hispasat y el Amazonas, construidos por la empresa española Hispasat [13].

2.1.7 Satélite en órbita MEO.

Las órbitas MEO {Medium Earth Orbit} son órbitas situadas entre los 1.500 Km. y la distancia de la órbita GEO. En función de la distancia pueden tener un retardo y periodo bastante variable. Por ejemplo, a una altura de 10.000 Km., el periodo de rotación sería de 6 horas aproximadamente, mientras que a 20.000 Km. rondaría las 12 horas [9].

Esta órbita MEO se suele utilizar por los proveedores de servicio GPS {Global Positioning System}. Como ejemplo, los americanos Navstar GPS utilizan una órbita MEO a 20.000 Km. de altura con periodos de rotación de 12 horas usando 24 satélites en 6 planos orbitales con una inclinación de 55° [9].

2.1.8 Satélite en órbita LEO.

Las órbitas LEO {Low Earth Orbit} son las órbitas más bajas en las que puede haber satélites, rozando la atmósfera terrestre. Suelen orbitar en altitudes de cientos de Km. hasta un máximo de 1000 Km., con unos retardos de entre 8 y 40 milisegundos. Debido a que se mueven rápido y que no proyectan huella de gran tamaño, además de estar en una zona de la tierra con muchas radiaciones variadas, no son el tipo de satélite más recomendable para las telecomunicaciones, ya que para ofrecer servicio se precisarían muchos satélites con servicios interconectados. La configuración LEO está orientada a la observación terrestre, donde su posición resulta muy ventajosa.

No obstante, en las regiones donde los satélites GEO no ofrecen servicios, algunos proveedores han ofertado servicio a través de constelaciones de satélites LEO interconectados. Aunque gestionar esta constelación implica una labor de control delicada, se obtiene como beneficio que los retardos son muy pequeños en comparación con los GEO.

Como ejemplo destacable de nave que ocupa una órbita LEO, se tiene la Estación Espacial Internacional [14].

2.1.9 Satélite en órbita HEO.

Las órbitas HEO {Highly Elliptical Orbit} son órbitas con forma elíptica, y que sitúan la tierra en uno de los focos.

En estas órbitas, el diseño de la órbita se realiza de forma que cubra la mayor región posible durante su periodo orbital, teniendo en cuenta que en el apogeo se moverá a velocidades lentas, y más rápido cerca del perigeo (por la 2ª ley de Kepler). Son órbitas utilizadas en las regiones polares y de latitudes altas, donde las posibilidades de los satélites GEO son limitadas.

Un caso de este tipo son los satélite “Molniya” rusos, con el apogeo a 40.000 Km. y el perigeo a 1.000 Km de la tierra. Estos satélites tienen un periodo de 12 horas, de forma que, de esas 12 horas, durante 8, dan cobertura desde el apogeo. De esta forma, con tres satélites cubren la zona configurada como cobertura desde el apogeo, es decir, barren la región desde el apogeo las 24 horas [9].

Tabla 3. Principales características de las órbitas de satélites [9].

Satellite altitude (kilometers)	Maximum observable region		Effective observable region (Minimum elevation angle = 10 degrees)	
	Radius (km)	% of Earth's surface	Radius (km)	% of Earth's surface
500	2440	3.6	1560	1.5
1,000	3360	6.8	2440	3.6
20,000 (Semisynchronous)	8450	38	7360	30
36,000 (Geosynchronous)	9040	42	7950	34

2.2 Satélite transparente y con procesado a bordo.

2.2.1 Satélite transparente.

Se considera satélite transparente a los satélites que reciben la señal de tierra en la frecuencia ascendente, la filtran y la separan del resto de frecuencia cambiándola de portadora, y la retransmiten a la tierra de nuevo en el enlace descendente.

Reciben su nombre porque no procesan la señal, se limitan a realizar mecanismos de conmutación y repetición.

2.2.2 Satélite regenerativo o con procesado a bordo.

Se considera satélite regenerativo al que recibe la señal de la tierra y la procesa y regenera antes de enviarla de nuevo en el enlace descendente. Para poder realizar estas labores, el satélite debe disponer de sistemas que permitan realizar las tareas que se precisen para las acciones de procesado y regeneración.

Este tipo de sistemas han transformado la tecnología satélite, pues disponer de un satélite capaz de procesar y regenerar la señal permite ampliar las posibilidades de los servicios a ofrecer, combinando diferentes arquitecturas y tipos de servicio y ofreciendo diferentes niveles de calidad de servicio. Estos satélites se denominan OBP (on-board processing).

2.3 Enlace intersatélite.

El enlace intersatélite (“ISL, inter-satellite link”) es una técnica que permite que varios satélites cooperen a la hora de ofertar un determinado servicio, con objeto de optimizar costes y evitar contactar con estaciones terrestres para mantener las comunicaciones. La solución técnica ideal pasa por resolver este desafío sin necesidad de bajar a tierra. Se puede aplicar en diferentes arquitecturas (LEO, MEO, GEO, HEO).

Integrado por varias empresas y organismos internacionales, llegó a estudiarse la puesta en marcha de un sistema satélite GEO que tenía como objeto llegar a formar una “red en el cielo” integrada por satélites “pequeños” interconectados con técnicas de ISL, como puede verse en [40]. Este es un ejemplo de ISL en una red GEO.

2.4 Tipos de arquitecturas satélite.

Una vez que se han descrito de forma conceptual los aspectos generales del servicio de telecomunicaciones satélite, se describirá de forma somera las arquitecturas más frecuentes [10, 11].

2.4.1 Arquitectura de tipo estrella.

Considérese un satélite de telecomunicaciones desde el que se ofrecen determinados servicios. A la hora de construir una arquitectura de red, se dispone de diferentes posibilidades. Una de ellas es utilizar una estación como nodo central de comunicaciones con el satélite, y que las comunicaciones con el satélite pasen a través de este nodo central, que denominaremos "**Hub**". De esta forma, se produce una comunicación en varios tramos:

*Estación (1) ↔ **Hub** (que es quien se comunica con el satélite) ↔ Estación (2)*

La comunicación entre las estaciones precisa un doble salto pasando por el satélite, consecuentemente, se genera doble retardo, hecho a tener muy en cuenta en el caso de aplicaciones interactivas. Esta configuración se denomina en estrella pura, y está indicada cuando hay asimetría en las comunicaciones (más flujo desde el satélite {downlink} que hacia el satélite {uplink}) y los servicios se difunden a través de aplicaciones centralizadas (desde el Hub).

2.4.2 Arquitectura de tipo malla.

En este tipo de arquitecturas, las estaciones de tierra pueden comunicarse de forma directa con el satélite sin necesidad de pasar por un nodo central. Con las redes de tipo malla se consigue realizar la comunicación en un solo salto satélite, pero debe tenerse en cuenta que el satélite a utilizar debe tener la capacidad de comunicarse con las estaciones de forma que pueda procesar la comunicación ascendente/descendente de forma adecuada. Este tipo de arquitectura sería más adecuada para aplicaciones interactivas, pues se minimiza el retardo.

2.4.3 Arquitectura de tipo mixto.

Este caso es una combinación de los anteriores. La idea es disponer de una arquitectura estrella con un hub, pero con estaciones que pueden comunicarse con el satélite de forma directa, como haría el caso de una arquitectura de tipo malla. De esta forma, se puede conseguir que haya comunicación directa entre dos estaciones, utilizando el satélite como puente para la comunicación.

Este tipo de configuraciones son necesarias a medida que se van necesitando más aplicaciones de diferentes tipos y se precisa aportar mayor funcionalidad a los sistemas. Para unos casos, se utilizará la configuración estrella, mientras que para aplicaciones que precisen minimizar el retardo, se pasará al caso malla.

2.5 Interconexión con red terrestre (fija y móvil).

Es obvio que el servicio satélite aporta comunicaciones dónde no las hay, pero es necesario que aporte sinergias con las comunicaciones de tierra, tanto fijas como móviles, para complementar los servicios ofrecidos, así como para poder ser, en algunos casos, alternativa, si las posibilidades técnicas y los costes lo permiten.

Para estos casos, se precisa de equipos que realicen la conexión de la red terrestre (fija o móvil) con la red satélite, utilizando todas las aplicaciones el mismo protocolo base, que sería IP. Los equipos que permiten la interconexión de red terrestre con red satélite se denominan "Internetworking gateways" (IGWs). Uno de los campos de más investigación y desarrollo es dotar a estos IGWs de tecnología para garantizar el servicio al usuario extremo a extremo, con una buena calidad de servicio [15].

En la siguiente figura se puede observar este esquema:

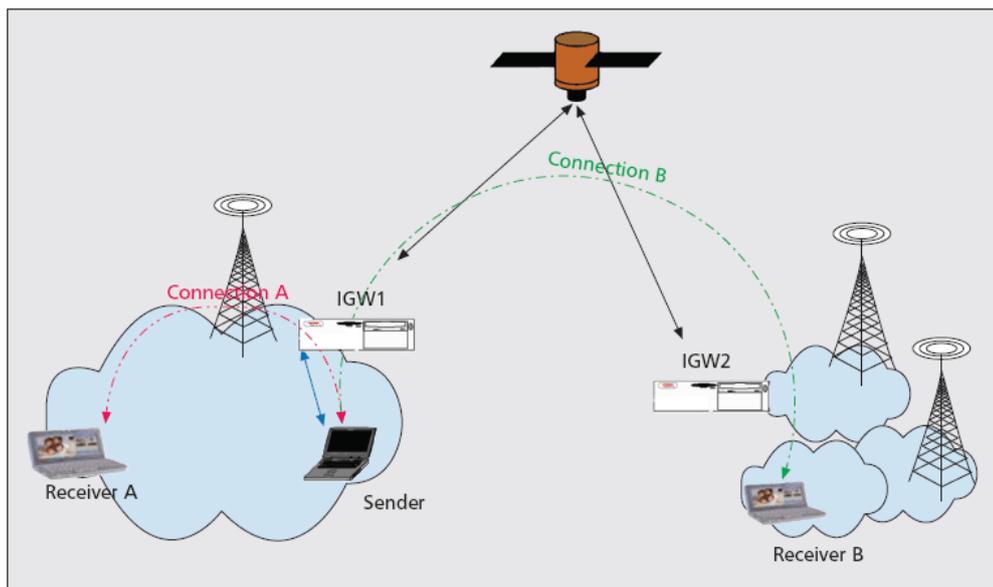


Figura 5. Interconexión red terrestre y satélite [15].

En el modelo propuesto por los autores en [15], el camino extremo a extremo se divide en varios segmentos en función de los IGWs. La interconexión con la red terrestre se basa en gestionar este escenario de red en función de los IGWs, adecuando la calidad de servicio entre cada segmento de forma que la calidad de servicio global sea la esperada, utilizando como protocolo base IP.

2.6 Servicios satélite más extendidos.

2.6.1 Difusión de TV.

Uno de los servicios satélite más extendidos es la difusión de TV digital mediante tecnología satélite de banda ancha siguiendo el estándar DVB-S [16], nicho fundamental para los operadores de servicios satélite.

Este negocio cuenta con una cuota de mercado considerable, ya que los costes de las antenas de recepción son muy competitivos (diámetro menor de 1 metro), y las cuotas mensuales de los clientes son reducidas, incluso se ofrecen dentro de paquetes compartidos con otros servicios de telecomunicaciones.

2.6.2 Servicios multimedia audio y vídeo.

Para aquellos servicios que precisen interacción con el usuario (voz sobre IP, multiconferencia), es necesario disponer de un sistema satélite que permita esta interacción garantizando la adecuada calidad de servicio (esto es, minimizando latencias y retardos). Era necesario añadir al canal de difusión un estándar que incluya un canal de retorno.

Con este objetivo, se desarrolló el estándar DVB-RCS y DVB-RCS 2 [17], que establece las pautas para la construcción de sistemas multimedia completamente interactivos por satélite [10], y que ha permitido la oferta de servicios interactivos, como son la voz sobre IP y la multiconferencia, gestionados con requerimientos de calidad de servicio.

2.6.3 Servicios de datos.

Los servicios de datos habituales sobre IP (tráfico HTTP, web, email, FTP, etc.) son un servicio más que se puede ofrecer a través de satélite, si bien en las arquitecturas habituales, se considera tráfico elástico con calidad de servicio de tipo "best effort", por lo que sería el menos prioritario a la hora de repartir el caudal de bits que ofrezca el satélite, ya que se prioriza el tráfico no elástico (audio) y el tráfico no elástico con tolerancia (vídeo) [11].

No obstante, la cada vez mayor densidad de equipos móviles con más necesidad de caudal de datos (tipo "smart phone") está obligando a los operadores móviles y fijos a ofrecer cada vez mayor caudal de datos, por lo que la necesidad de ofrecer más caudal de datos desde satélite debe considerarse como reto inmediato. En otro caso la convergencia e interconexión con las redes terrestres correrá riesgos, y es un aspecto importante que puede dejar aislada a la tecnología satélite.

2.7 Servicios de nueva generación.

En la sección 2.6 se han visto los servicios más habituales que se están ofreciendo a través de tecnología satélite, y en el apartado 2.5 se ha comentado la importancia de la interconexión con la red terrestre, como cuestión vital a la hora de garantizar el desarrollo de los servicios satélite a futuro. Considerando estas dos cuestiones, la nueva generación de servicios satélite tiene que, necesariamente, ir en línea con los servicios de nueva generación que se están desarrollando en la red terrestre, fija y móvil [1].

Los servicios de telecomunicaciones futuros están orientados cada vez más al mundo de la tecnología de telecomunicaciones móviles. La eclosión y desarrollo de los dispositivos tipo smart phone y tablets, con aplicaciones cada vez más interactivas y potentes, precisa arquitecturas de red y servicios que aseguren los caudales de bits necesarios para su funcionamiento, añadiendo a este requisito de caudal criterios de calidad, pues manejan tráfico audio y vídeo en streaming de forma masiva.

Una cuestión muy importante es que los consumidores finales son cada vez más ubicuos, es decir, precisan las aplicaciones en cualquier horario y desde cualquier parte, por lo que asegurar el servicio con calidad en todo momento se vuelve cada vez más complejo. Este requisito, que tendrá en cuenta la futura telefonía móvil de 4ª generación (4G - LTE, "Long Term Evolution") [18], debe ser extrapolado al mundo de la tecnología satélite.

En la siguiente tabla se resumen algunos de los actuales caminos de investigación de la tecnología satélite.

Tabla 4. Próximos pasos hacia la nueva generación de servicios vía satélite.

Próximos pasos	Objetivo
Transición IPv4 a IPv6	<i>Puesto que IP es el protocolo a desarrollar en los servicios de red tanto fija como móvil, la transición de IPv4 a IPv6 terrestre implica la misma transición en la tecnología satélite.</i>
Caudal de bits & QoS	<i>Cada vez hay más tráfico móvil, demandando un mayor caudal de bits. Los proveedores de tecnología satélite deben ofrecer servicios IP de suficiente caudal, asegurando que la calidad de servicio ofrecida cumple las expectativas del usuario final.</i>
Ingeniería de tráfico	<i>Un mayor caudal de tráfico exige una mejor ingeniería del tráfico para la gestión adecuada de los recursos. Estas técnicas de ingeniería de tráfico se están desarrollando, entre otros, mediante MPLS en la red terrestre, y deberá ser extrapolado al mundo de la red satélite.</i>
Internet de las cosas	<p><i>Se considera cercana la eclosión de la internet de las cosas. Dispositivos RFID y de tipo sensor, dotados de la adecuada conectividad, permitirán interactuar con objetos de forma remota (domótica, automoción, aeronáutica, defensa), obtener datos y condiciones del medio ambiente (protección de la naturaleza y fauna salvaje, control de la agricultura), orientando el uso de internet de forma que objetos de la vida cotidiana manejen información sin necesidad de intervención humana.</i></p> <p><i>Teniendo en cuenta la capacidad de la tecnología satélite de llevar comunicaciones allí donde no las hay, las sinergias de la internet de las cosas y las comunicaciones satélite son un camino de investigación a desarrollar, con muchas posibilidades de futuro [128].</i></p>

3 IP sobre red satélite.

3.1 Escenario IP sobre red satélite.

Existen muchas razones por las que el protocolo IP ha sido tan exitoso, pero deberían destacarse dos razones: el principio extremo a extremo, y la diversidad de aplicaciones que se pueden implementar mediante este protocolo, siendo su máxima expresión las aplicaciones HTTP. Estas peculiaridades han permitido una difusión global que ha colocado internet en la primera línea de actualidad tanto de tecnología como de negocios.

Pero como se ha indicado en el capítulo anterior, una de las necesidades de las tecnologías es que converjan a soluciones compatibles, y esto puede implicar problemáticas tecnológicas diferentes en función de la tecnología que se considere, esto es, las problemáticas de las comunicaciones móviles pueden ser diferentes a las de las comunicaciones fijas o a las de las comunicaciones satélite.

En el caso de la tecnología satélite, el objetivo de utilizar IP no sólo es un objetivo de convergencia, es también un objetivo para competir y complementar a las tecnologías de tierra. El desarrollo de la tecnología satélite implica la compatibilidad con los sistemas terrestres utilizando el mismo modelo de comunicaciones: IP.

Como sucede en el caso de los estándares DVB-S y DVB-RCS, en el caso de servicios IP también ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ha definido estándares y especificaciones que son las más aplicadas por los fabricantes y proveedores de servicios satélite. Estos estándares están incluidos en la tecnología BSM ("Broadband Satellite Multimedia"). La tecnología BSM tiene como objetivo definir estándares en un marco para el desarrollo de servicios interactivos de alta calidad mediante satélite, incluyendo servicios que utilizan IP. El objetivo de estos estándares es que se puedan desarrollar estos servicios IP mediante las diferentes familias de satélites. Entre estos estándares y especificaciones cabe destacar las siguientes [19,20]:

- ☑ "Functional Architecture for IP internetworking with BSM Satellites" (ETSI Technical Specification TS 102 292 v1.1.1, 2004-02-11).
- ☑ "QoS Functional Architecture" (ETSI Technical Specification TS 102 462 v1.1.1, 2006-12-07).

3.2 Factores a considerar.

La tecnología satélite es capaz de prestar servicios de forma rápida allí donde no hay capacidad para llevar las comunicaciones por vía terrestre, sin necesidad de más recursos que los mínimos para la prestación de los servicios (los sistemas satélite y las estaciones/equipos de tierra). Desde el punto de vista puramente técnico, son una solución ideal para llevar comunicaciones donde las soluciones “estándar” terrestres no tienen cabida. Pero muchos de los servicios de este tipo aportan unos ingresos modestos, o con pocas posibilidades de crecer a futuro, por lo que los operadores satélite precisan nuevos negocios de manera que puedan hacer su actividad sostenible.

Es evidente que uno de los aspectos más naturales es ofrecer los mismos servicios que se ofrecen por los operadores de comunicaciones terrestres, fijos o móviles, o bien, tener la posibilidad de integrarse en esa cadena de valor que se oferta al usuario. En la siguiente figura se puede ver esta idea, tal como exponen los autores en [15]:

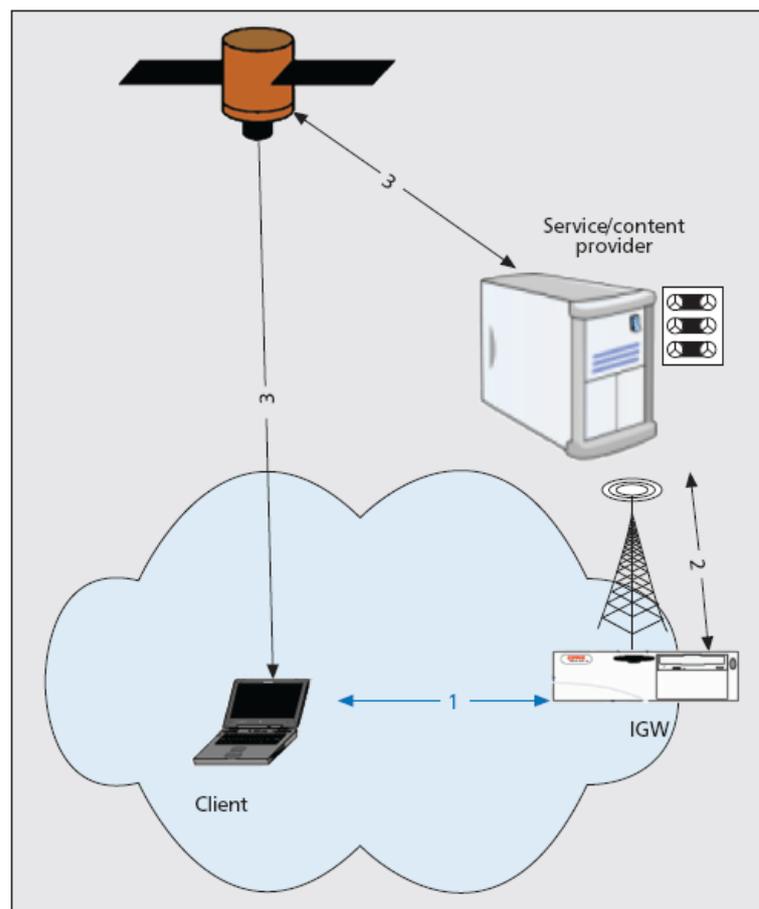


Figura 6. Modelo de servicio satélite, directo o integrado con IGWs [15].

No obstante, el despliegue de los servicios por satélite es más caro que en el caso terrestre, por lo que ofrecerse como alternativa compitiendo en costes con el caso terrestre es complejo y difícil de asumir. Lo más conveniente sería complementar al servicio ofrecido vía terrestre de forma que la solución final sea una solución de valor añadido. De esta forma, aunque hubiera un coste un poco mayor, es probable que fuera asumido por el consumidor final.

Un ejemplo es el objetivo del autor de este trabajo, que es analizar posibles servicios de telecomunicaciones a ofrecer a consumidores a bordo de una aeronave, cuando lo habitual es que no disponga de éstos. Es claro que es una solución de valor para el cliente, aunque ello suponga costes, que, en cualquier caso, deben verse como una inversión, no como un gasto.

Se puede entender internet como la interconexión de subredes mediante routers, utilizando en toda la red el mismo protocolo, IP. Extrapolando este concepto para satélites, la idea es que los sistemas satélites sean los “routers en el cielo” de la internet.

3.2.1 Interconexión con red terrestre.

Como se ha visto en el capítulo 2.5, la interconexión con la red terrestre tiene como gestores fundamentales a los elementos con los que se realiza la interconexión entre los segmentos terrestre y espacio, los IGWs. Con las capacidades de los actuales y futuros satélites OBP, y con IGWs dotados de la inteligencia adecuada, se puede obtener una interconexión con la red terrestre que garantice un nivel de servicio adecuado a los consumidores finales.

3.2.2 Eficiencia en la transmisión de datos.

Las aplicaciones que utilizan IP suelen utilizar como modelo de transporte TCP, que tiene problemas de compatibilidad con las comunicaciones radio [10]. Esto implica tener que utilizar variantes de TCP, que aseguren el transporte y la eficiencia en la transmisión.

Algunas variantes que se utilizan son TCP* [10] ó variantes de XCP [15], o nuevos modelos como el REFWA (“Recursive, explicit and fair window adjustment”) [15]. La propuesta del REFWA ha aportado buenos resultados en interconexión de red móvil/fija terrestre, y aporta buenos resultados en simulaciones de tráfico satélite [15].

3.2.3 Calidad de servicio.

Es muy importante asegurar la calidad de servicio, de forma que se pueda ofrecer aquella que el usuario espera. En la tecnología satélite esto implica manejar de manera adecuada los retardos y latencias, así como asegurar un adecuado caudal de tráfico. Se verá con más detalle este aspecto en el capítulo 3.3.

3.2.4 Gestión de la movilidad.

En un escenario de tecnologías satélite, se parte de un escenario completamente móvil (pues se mueve el satélite y el cliente terrestre, sea fijo o móvil). En el caso de un satélite GEO, respecto al observador terrestre, permanece fijo, pero en el caso de sistemas LEO, MEO, HEO, hay movimiento del satélite y del usuario en tierra. Esto implica que sea muy importante gestionar de forma adecuada la movilidad y la comunicación en itinerancia. Esta buena gestión implica:

- Asegurar la eficiencia en la transmisión de datos.
- Gestionar la comunicación en itinerancia en todas sus variantes:
 - ✓ Por cambio de dirección IP (del satélite o del equipo terrestre).
 - ✓ Por cambio de servicio del satélite al siguiente satélite proveedor por enlace intersatélite.
 - ✓ Por cambio de huella del servicio satélite.
 - ✓ Por cambio de "spotbeam" dentro de una misma huella.

Todas estas variantes de gestión de la itinerancia están suponiendo estudios y nuevas propuestas, algunas de ellas muy innovadoras y manejando conceptos "cross layer" [15], con objetivo de optimizar la gestión de la movilidad. Es un aspecto básico para cualquier servicio concebido como servicio satélite.

3.2.5 Gestión de los servicios ofertados.

En un escenario en el que se pretende ofrecer servicios IP, no es evidente definirlos cuando se depende de redes diferentes (terrestre, móvil, satélite). De hecho, lo habitual es que cada servicio se defina de una forma distinta en función de cómo se va a distribuir según la naturaleza de la red de destino. Este es un aspecto importante a la hora de obtener la convergencia buscada entre red terrestre y satélite.

En el momento actual, la definición de los servicios ofertados depende de la arquitectura de la que dispongan los operadores satélite, si bien hay arquitecturas en el mercado que tienen posibilidades variadas, como puede ser el sistema AMERHIS desarrollado por Thales Alenia Space España y operado por Hispasat en el satélite Amazonas. AMERHIS es un sistema OBP que ofrece servicios DVB/S, DVB-RCS e IP multiservicio (unicast y multicast), además de otros servicios de banda ancha, con arquitecturas de calidad de servicio en función de los servicios ofrecidos [19]. En este ejemplo se puede ver como un sistema OBP posibilita operar diferentes servicios IP en una misma arquitectura.

Algunos de estos servicios ofrecidos por AMERHIS son [19]:

- ✓ Difusión TV/vídeo.
- ✓ Emisión de radio (banda ancha).
- ✓ Tráfico de datos internet.
- ✓ Tele-educación, tele-medicina.
- ✓ Multiconferencia (audio y/o vídeo).
- ✓ Juegos interactivos.
- ✓ Trabajo en grupo.
- ✓ Emisión IP multicast.
- ✓ Interconexión de redes de área local (LAN) y redes privadas virtuales (VPN).

Uno de los retos futuros será definir modelos de gestión que permitan ofertar servicios de la forma más transparente posible, sin necesidad de entrar en cuestiones como puede ser la naturaleza de la red, donde las únicas variables a considerar sean los tipos de servicio y los niveles de calidad asociados a éstos.

En algunos casos se está considerando utilizar arquitecturas basadas en IMS [15], tal como se está haciendo en la telefonía móvil terrestre, pero el IMS tiene muchos problemas de consolidación a medio plazo [18], por lo que conviene trabajar en una definición de gestión de servicios más robusta, y siempre en compatibilidad con los servicios terrestres.

3.3 Calidad de servicio.

En el mundo del protocolo IP, la calidad de servicio no ha sido un tema prioritario hasta que comenzó a extenderse el uso de IP para audio y vídeo, bien mediante protocolos real-time o usando streaming. Es obvio que emitir audio o vídeo precisa unos mínimos de calidad, al menos, como se esperaría en los sistemas de telefonía o TV “clásicos”.

El protocolo IP es un protocolo “tradicionalmente” implementado de forma “best effort”. Esto implica [10]:

- ✓ No está orientado a conexión.
- ✓ No ofrece garantías frente a retardos.
- ✓ Depende del tráfico que generan los usuarios.
- ✓ No permite priorizar unos tráficos frente a otros.

Ante este escenario, era necesario definir un modelo de calidad de servicio (QoS, “quality of service”), de forma que se pudieran desplegar mediante IP aplicaciones que requieren parámetros de calidad: un determinado caudal mínimo de bits, asegurar que no se producen retardos ni latencias, ofrecer servicio de forma simultánea a varias aplicaciones con diferentes tipologías de servicio garantizando los tiempos de respuesta.

La calidad de servicio es el conjunto de herramientas que permite clasificar los tráficos que atraviesan una red para distribuir de forma adecuada los recursos de comunicaciones entre ellos, asegurando que los consumidores finales obtienen el servicio esperado.

3.3.1 Tráfico elástico.

Se denomina tráfico elástico al que se puede acomodar al caudal y retardo de la red, aunque estos cambios de caudal y retardo sean considerables. Un ejemplo de este tipo de tráfico es el “best effort” HTTP, FTP, e-mail.

Por su propia naturaleza, este tipo de tráfico se suele considerar como el de menor prioridad, aunque puede disponer de requerimientos de calidad de servicio superiores a “best effort”.

3.3.2 Tráfico no elástico.

Se considera tráfico no elástico aquel que no se puede adaptar a las condiciones de la red, tanto de retardo como de caudal de tráfico. Un ejemplo típico es el tráfico de las aplicaciones de tiempo real, como pueden ser voz sobre IP (VoIP) o la emisión de vídeo sobre IP.

El tráfico no elástico precisa unos requerimientos mínimos para su funcionamiento (caudal de bits mínimo, máximo retardo admitido, máxima tasa de pérdidas admitidas, etc.).

Habitualmente puede diferenciarse en dos tipos:

- a. *Tolerante: Aunque la red no ofrezca todas las condiciones para activar el servicio, se puede comenzar la comunicación para poder obtener los recursos necesarios y se comenzará la comunicación completa cuando se disponga de todos los recursos. El tiempo que transcurre entre esta pre-comunicación y la comunicación efectiva se denomina tolerancia del servicio. Un ejemplo típico es el vídeo en streaming. Cuando se activa el servicio se empieza a cargar el vídeo en buffers temporales y se emite cuando se dispone de todos los recursos.*
- b. *No tolerante: Se precisa disponer de todos los recursos desde el inicio de la comunicación, en otro caso no se puede iniciar. El caso habitual es la voz sobre IP, que suele tener condiciones muy exigentes en cuanto al caudal y al retardo.*

En la siguiente gráfica se apreciar de forma visual la *utilidad* $U(w)$ de los tipos de tráfico considerando como variable " w ", el ancho de banda (caudal de bits) [22].

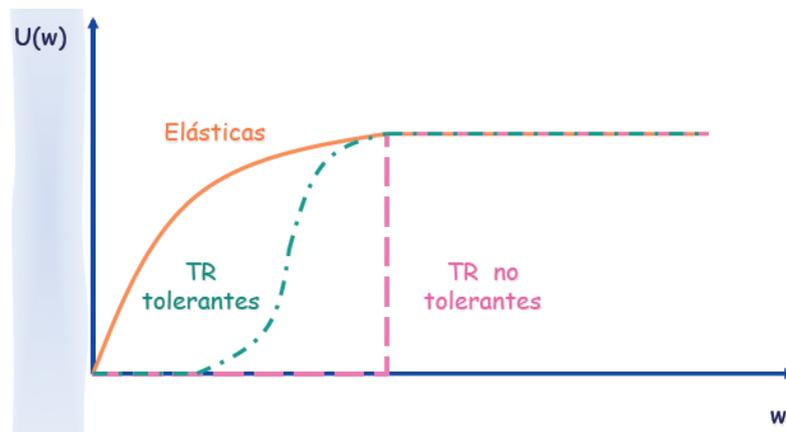


Figura 7. Tipos de tráfico: elásticas, tiempo real tolerante y no tolerante [22]. *En el caso de tráfico elástico, desde el primer momento, las aplicaciones empiezan a responder aunque en caudal sea reducido. En el caso de las TR tolerantes, las aplicaciones empiezan a responder pero la respuesta se produce de forma parcial y con pequeños cortes (de ahí la gráfica discontinuada). Cuando se llegue al caudal necesario la aplicación responderá de forma habitual. Y en el caso del tráfico TR no tolerante, la aplicación no comenzará a responder mientras no haya el ancho de banda que se precise para su funcionamiento.*

3.3.3 Arquitecturas de calidad de servicio IP.

El objetivo de la calidad de servicio es ofrecer un sistema de transporte diferenciado y predecible de unos tráficos sobre otros, independientemente del resto de tráficos que circulan por la red. En este escenario deben contemplarse todas las variables que determinan el tráfico: caudal, retardo, latencia, variación de latencia, tasa de pérdida. También se podría considerar priorizar tipos de tráfico según su naturaleza funcional (audio sobre vídeo, tiempo real sobre datos).

A la hora de establecer calidad de servicio, puede definirse asegurando un determinado nivel de servicio para unos tipos de tráfico, o bien estableciendo un porcentaje de servicio de tipo estadístico (“el retardo no será superior a t milisegundos”, “el caudal mínimo será de B Mbps”, etc.).

Las arquitecturas de calidad de servicio más habituales son las siguientes.

a. Servicios Integrados {IntServ}.

Este modelo de calidad de servicio se basa en establecer y reservar de antemano las necesidades de las aplicaciones extremo a extremo en cada uno de los elementos de la red. Es una arquitectura de definición compleja y con problemas de escalabilidad, por lo que su difusión para modelos de redes de gran tamaño o complejas ha sido limitada.

b. Servicios Diferenciados {DiffServ}.

Este modelo de calidad de servicio se basa en diferenciar los distintos tipos de tráfico, definiendo para cada uno de ellos un acuerdo de nivel de servicio (“Service Level Agreement”, SLA). De esta forma, la gestión de los servicios se basa en identificarlos con sus tipos de tráfico, adecuando los recursos a cada tipo de tráfico según su SLA. Es un modelo escalable y que se adapta a modelos de gran tamaño, además de ser bastante flexible ante cambios en la configuración de las propias redes.

3.3.4 Arquitecturas de calidad de servicio IP sobre red satélite.

En el caso de servicios a través de una red satélite, hay una serie de condiciones que se van a tener que considerar, por la naturaleza propia de la distancia a la órbita del satélite.

Teniendo en cuenta que la mayoría de servicios satélite se gestionan desde satélites en órbita GEO, en el caso más favorable, dispondríamos del retardo de un sólo salto satélite para un satélite OBP en una red mallada, y en el más desfavorable dispondríamos de red estrella con un satélite transparente, lo que implica doble salto satélite. Por lo tanto, las condiciones de los servicios dependen de la propia naturaleza de la red y del satélite. En el caso de satélites LEO, el retardo no es tan considerable, pero si hay variaciones de retardo considerables (jitter), y se producen interferencias por radiaciones electromagnéticas características de la altura de la órbita LEO.

No debe despreciarse que en climatología adversa (lluvias) el factor de atenuación puede ser considerable (en frecuencias entorno a 10 GHz), además que un temporal adverso en tierra puede afectar a la estabilidad de las antenas, que provoque pérdidas en la recepción. Esto implica habilitar técnicas de codificación para evitar errores y pérdidas.

En el caso de interconexión con la red terrestre, el servicio “end to end” debe considerar que se divide en varios segmentos, el segmento terrestre y el segmento espacio, por lo que aportar QoS implica configurar de forma adecuada en cada segmento, con objeto de que la calidad final sea la esperada.

Un modelo de QoS basado en DiffServ adaptado al mundo satélite según las clases de tráfico es el mostrado en las referencias [20,21]:

- Clase prioridad 1: Voz sobre IP. Tráfico prioritario con mínimo retardo.
- Clase prioridad 2: Vídeo. Tráfico prioritario pero con retardo admisible en función de la tolerancia.
- Clase prioridad 3: Datos, con un nivel de servicio en función de la demanda de ancho de banda de las aplicaciones.
- Clase prioridad 4: Datos, modelo “best effort”.

Esta propuesta dependerá de las necesidades que se quieran contratar, que son las que habrá que definir en el SLA con el operador satélite.

3.4 Servicios IP: voz, imagen, datos.

3.4.1 Servicios de voz.

Para el tratamiento de voz sobre IP, lo más importante es asegurar que se transmite la voz con la calidad adecuada y que no se producen retardos, o al menos, que se producen retardos admisibles. Lo habitual es utilizar códecs para realizar compresión de datos de forma que se puedan transmitir en las mejores condiciones. Las variables a considerar serían:

- ✓ *Códec y "bit rate" asociado al códec.*
- ✓ *Tamaño de los paquetes de voz.*
- ✓ *Tamaño de las cabeceras (con y sin comprimir).*
- ✓ *Retardo asociado al códec.*
- ✓ *Retardo asociado al tipo de satélite (transparente / OBP).*
- ✓ *Retardo asociado al tipo de acceso (estrella o malla).*

Como ejemplo, en un sistema DVB-S, utilizando códecs con compresión que permitan que los paquetes sean de tamaños reducidos (menos de 188 Bytes, que es el tamaño del paquete TSP) y retardos entorno a 20 ms., y utilizando conexión directa con un satélite OBP los resultados obtenidos de calidad percibida son razonables. Para el estudio de la calidad percibida, la ITU proporciona un sistema de cálculo en el que se pueden introducir las variables del escenario a evaluar, considerándose aceptable un índice superior al 80% de MOS/R [21].

3.4.2 Servicios de imagen.

La emisión de vídeo sobre IP se ha convertido en algo usual, debido a que cada vez se "encajan" más vídeos dentro de los contenidos que presentan las páginas web. Esto ha ocasionado una mayor necesidad de ancho de banda por parte de los usuarios, ya que la previsión a futuro es que los contenidos de tipo vídeo sean cada vez más abundantes. A la hora de considerar el vídeo sobre IP, se podrían considerar dos casos.

a. Aplicaciones vídeo ligadas a servicios TELCO.

En este caso, consideramos que el servicio de vídeo forma parte de un servicio TELCO bien definido, como puede ser un servicio de vídeo conferencia o una aplicación de tele-educación.

Por su propia naturaleza, el servicio requerirá unas condiciones de calidad de servicio ligadas a un SLA, que implica considerar un escenario similar al de la voz por IP, con la única diferencia de que la emisión de vídeo sea un poco más tolerante en cuanto al retardo. Las consideraciones acerca del uso de códecs y tipo de red satélite serían similares al caso de la voz IP.

b. Servicios de vídeo “over the top”.

En este caso, se considera que los vídeos forman parte de aplicaciones HTTP, es decir, son vídeos que se emiten por HTTP en streaming. El acceso a este tipo de aplicaciones suele ser “best effort”, por lo que su correcto funcionamiento dependerá del ancho de banda disponible.

Aunque en los sistemas terrestres ver vídeo vía HTTP es algo usual porque los anchos de banda suelen ser suficientes, en el caso satélite el ancho de banda es un recurso más escaso, por lo que si no se ajustan las condiciones de QoS, el resultado podría no ser el esperado.

3.4.3 Servicios interactivos.

Se podría decir que los servicios interactivos son aplicaciones de tipo real-time que combinan capacidades audio y vídeo sobre IP, además de alguna utilidad interactiva en tiempo real, como puede ser el intercambio de archivos o mensajes on-line. Un ejemplo podría ser una aplicación de tele educación o un juego on-line.

Este tipo de aplicaciones ya se ofrecen por operadores satélite [21], y por combinar posibilidades de audio y vídeo, requerirán condiciones de calidad de servicio adecuadas a su escenario de uso.

3.4.4 Servicios de datos.

Los servicios de datos más difundidos vía satélite son las aplicaciones de tipo HTTP, FTP y e-mail, que han sido tratados habitualmente con un modelo de calidad de servicio tipo “best effort”.

El cada vez mayor número de usuarios con equipos móviles como puede ser “smart phones” o equipos de tipo tablet, augura que en un futuro cercano habrá cada vez más necesidad de proveer este tipo de servicios vía satélite a más usuarios, teniendo en cuenta que la demanda de caudal de bits irá en aumento, por lo que se puede requerir mejorar el modelo “best effort” con un nivel de calidad superior. Es importante que los proveedores satélite sean capaces de responder a estas futuras necesidades de forma similar a como lo están haciendo los operadores terrestres.

3.4.5 IP Multicast.

Uno de los servicios que se puede ofrecer vía satélite es el multicast vía IP, que es la emisión de información desde un único origen a varios destinatarios, de forma simultánea, mediante protocolo IP.

Una de las mayores ventajas que tiene la tecnología multicast es que permite optimizar los recursos de la red, porque aunque se envíe la información a muchos destinatarios, economiza los recursos: si se envía un paquete de datos a varios destinatarios, el origen sólo envía un único paquete, es la red la que irá duplicando este paquete de datos según los enlaces que haya en la red hasta llegar a destino, por lo que parte del recorrido de la información se realizará compartiendo recursos, de forma que siempre serán menos recursos que todas las conexiones unicast que se requerirían para llegar a los destinatarios.

El utilizar multicast vía satélite tiene sentido porque siempre se parte de la hipótesis de que los recursos de red son escasos, y esto puede tener aplicaciones en soluciones o servicios que impliquen la distribución de contenidos de forma remota, es decir, IP multicast vía satélite es una alternativa efectiva a la hora de configurar un modelo “content delivery” donde no lleguen los operadores TELCO terrestres.

4 Conceptos generales acerca de las aeronaves y sus sistemas.

A lo largo del siguiente capítulo se describirán algunos aspectos generales de las aeronaves que se considerarán en este trabajo, sus sistemas más característicos, haciendo especial énfasis en el caso particular de la parte de comunicaciones.

4.1 Concepto general de aeronave.

Desde el punto de vista puramente técnico, una aeronave es un vehículo que es capaz de desplazarse por el aire de forma independiente, siendo su medio de desplazamiento algo distinto a la reacción del vehículo contra la superficie terrestre.

Mediante esta definición, surgen dos tipos principales de aeronaves [24]:

- a) **Aerostatos.** Son las aeronaves que se mantienen en vuelo gracias a ser más ligeras que el aire, obteniendo esta flotación aérea gracias a contener gases más livianos que el aire de la atmósfera. El ejemplo más claro es el de los zeppelines y globos. Son difíciles de manejar pues se ven sometidos de manera muy directa a cualquier fenómeno atmosférico, además de que son lentos y poco prácticos.

- b) **Aerodinos.** Son los vehículos que pesan más que el aire y que se mantienen en vuelo gracias al principio de sustentación. Básicamente, el principio de sustentación se basa en que, sumergido en un fluido, una superficie con forma de ala, al entrar en contacto con el fluido, a suficiente velocidad mediante una fuerza de impulso, consigue que el fluido por encima del ala vaya a una velocidad superior al fluido por debajo del ala, venciendo la resistencia del fluido y haciendo que la sustentación (“fuerza hacia arriba”) sea mayor que el peso del móvil (“fuerza hacia abajo”). Con este principio se consigue a la vez moverse en el fluido y cambiar la altura respecto a la posición inicial. El principio de sustentación es un modelo científico copiado de la naturaleza al analizar el movimiento en fluidos líquidos o gases, observando el movimiento de las aves en el aire y de los peces en el agua.

Dentro de los aerodinamos podemos diferenciar dos tipos principales.

- **Alas fijas.** En este caso, las alas están fijas en el cuerpo de la aeronave. Aunque se podrían considerar aeronaves de alas fijas un planeador, un ala delta o un ultraligero, el modelo de aerodino de alas fijas por excelencia es el avión. Podemos definir como avión cualquier aerodino de alas fijas capaz de obtener impulso con, al menos, un motor.
- **Alas rotatorias.** En este caso, la sustentación se obtiene mediante el giro de unas palas alrededor de un eje, mediante un motor rotatorio. Para que esta sustentación permita movimiento se precisa al menos dos movimientos de palas, bien en posición paralela o bien en posición perpendicular, pues se precisa compensar el movimiento de las palas para evitar que el vehículo gire a la vez que las palas. El ejemplo típico es el helicóptero, cuya forma más común es un rotor de palas grandes sobre el vehículo y un rotor de alas pequeñas en la cola, o bien dos rotores (orientados de forma distinta) de palas grandes sobre el vehículo.

A lo largo de este trabajo, al utilizar el término aeronave se considerarán aviones de ala fija, dotados de motores de tipo turboreactor y utilizados en la aviación comercial para el transporte de pasajeros o de mercancías. Se considerarán aviones tanto de fuselaje estrecho (“narrow body”) como de fuselaje ancho (“wide body”) pues desde el punto de vista de comunicaciones, los conceptos a manejar son válidos en ambos modelos de avión [24].

4.2 Particularidades del diseño de las aeronaves. Seguridad.

Las posibilidades de que cualquier incidencia en el aire pueda tener consecuencias muy graves tanto para la aeronave como para su tripulación y pasaje es algo que se ha tenido muy en cuenta desde los primeros tiempos de la aviación. Esto ha ocasionado que las normativas tanto nacionales como internacionales sea muy escrupulosa a la hora de legislar y autorizar cualquier actividad ligada a la aviación comercial.

Estas normativas cubren todo el proceso ligado a la aviación comercial, esto es, se exige tanto a constructores de aeronaves, a las compañías operadoras, y a las empresas que realizan el mantenimiento de las aeronaves. Para que un constructor pueda producir y reparar aeronaves, precisará de las necesarias autorizaciones allí donde quiera vender y mantener, es decir, requerirá certificaciones nacionales e internacionales. Caso parecido sucede con las aerolíneas comerciales.

Cada innovación tecnológica precisará las aprobaciones tanto técnicas como legales de los organismos nacionales e internacionales, lo que valida la seguridad y compatibilidad de cada innovación. El único punto en contra que tiene este proceso es que hace más lenta la innovación en la industria, pero es algo aceptado, pues no se cuestiona ningún requerimiento en cuanto a seguridad.

Gracias a este modelo, fuertemente implantado y de mucho prestigio, está fundamentado en nuestra sociedad que el transporte aéreo es el más seguro, aportando unos ratios de siniestralidad muy bajos, e infinitamente menores comparados con otros medios de transporte. De hecho, en el último informe publicado en Europa, con datos de 2010, no se produjeron bajas en un total de 20 incidentes [129].

En este apartado se describirán las principales autoridades ligadas a la aviación comercial.

4.2.1 Principales organismos internacionales de la aviación comercial.

European Civil Aviation Conference (ECAC) [27]. Fundada en 1955 por Naciones Unidas y el Consejo de Europa (primeros tiempos de la Unión Europea), esta organización tiene como principal objetivo promover el desarrollo sostenible del transporte aéreo, coordinando las principales instituciones europeas competentes (Eurocontrol y EASA), a la Unión Europea y a aquellos países europeos que se quieran suscribir a la organización, y coordinando estas acciones con la Organización Civil de Aviación Internacional (ICAO). Hoy en día sus normativas están desarrolladas en coordinación con la EASA y la ICAO. Se describirán estos organismos a continuación.

Joint Aviation Authority (JAA) [28]. La JAA era el organismo regulador de la ECAC. Creado en 1970, su principal objetivo era crear normativa para realizar la expedición de certificados de aeronavegabilidad y certificados de calidad sobre componentes de las aeronaves, como pueden ser equipos electrónicos o motores, en territorio europeo. Estos certificados también se pueden extender para controlar la calidad de los mantenimientos de diversos componentes. Las certificaciones se conocen como **JAR** (Join Aviation Requirements). También publicaba certificaciones relativas a seguridad, pero a partir del año 2003, todas las normativas están siendo unificadas por parte la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA).

European Aviation Safety Agency (EASA) [29]. Creada en 2003, el objetivo de EASA es unificar todas las normativas y certificaciones de aeronavegabilidad, mantenimiento y seguridad en territorio europeo, añadiendo a estas competencias reglamentación relativa al medioambiente, que resulta muy exigente debido a que el sector de la aviación comercial consume una alta cantidad de combustible derivado del petróleo, siendo, por consiguiente, un gran emisor de CO₂.

Aunque es los países sigue siendo plenamente competente la autoridad de aviación civil del país, es obligatorio el cumplimiento de la normativa y reglamentación de EASA, que aplicará esta regulación y normativa en coordinación de la autoridad del país. En el caso español, la autoridad coordinada con EASA sería la Dirección General de Aviación Civil, dependiente habitualmente del Ministerio de Fomento. EASA puede inspeccionar la actividad de cualquier constructor, compañía aérea o compañía de mantenimiento en cualquier momento, sancionando o prohibiendo la actividad en caso de faltas graves.

International Civil Aviation Organization (ICAO) [30]. Creada en 1944 por Naciones Unidas, con sede en Montreal, tiene como principal objetivo el fomento del transporte aéreo en las mejores condiciones de seguridad y eficiencia, coordinando la regulación y las normativas entre los países que la integran (191), así como coordinando acciones para la reducción del impacto medioambiental del transporte aéreo. Las organizaciones de aviación civil de cada país miembro trabajan siempre en coordinación con la ICAO. ICAO dispone de un sistema de codificación de países, aeropuertos y aerolíneas, que es el que se utiliza en las actividades de control de tráfico aéreo.

Federal Aviation Administration (FAA) [31]. La FAA es la agencia federal de aviación civil de los Estados Unidos, dependiente del Departamento de Transporte. Creada en 1958, es la encargada de la gestión del espacio aéreo de los EE.UU., desarrolla la regulación y normativa en cuanto a aeronavegabilidad, seguridad, licencias y control medioambiental. La FAA es muy importante en el mundo de la aviación comercial por ser la mayor en cuanto a tamaño y a medios técnicos, debido al gran desarrollo del transporte aéreo en los EE.UU.

Debido a su prestigio, la mayoría de compañías tienen como objetivo cumplir las normativas y certificaciones que exige la FAA, una garantía de calidad en cualquier actividad ligada al transporte aéreo. Habitualmente, los desarrollos tecnológicos líderes se implantan en los EE.UU. bajo supervisión de la FAA. Una vez aprobados por la FAA se extienden al resto de países, sobre todo a Europa. Debe tenerse en cuenta que el mayor tráfico de aviación comercial del mundo está comprendido entre Europa y Estados Unidos, lo que se denomina tráfico aéreo del Atlántico Norte.

International Air Transport Association (IATA) [32]. La IATA es la organización internacional de compañías de aviación comercial. Fundada en 1945, tiene como objetivo el desarrollo de la actividad comercial de sus aerolíneas socias, cumpliendo la reglamentación de la industria aeronáutica y de las instituciones locales e internacionales.

La IATA es la encargada de liderar las acciones que permitan el desarrollo de la industria del transporte en coordinación con los diferentes estados y autoridades de aviación civil, pero también coordina acciones con los constructores de aviones, proveedores de combustible y otros aprovisionamientos para que los costes de la industria puedan controlarse y sean financieramente gestionables, pues la actividad de las aerolíneas supone altas inversiones y los márgenes de beneficios son pequeños, esto es, la diferencia entre obtener beneficios o pérdidas puede suponer décimas o centésimas de algunos de los costes. La IATA dispone también de una codificación de países, aeropuertos y aerolíneas, siendo esta codificación la que se utiliza habitualmente en los sistemas de reserva, emisión y venta de billetes. En España, existe una asociación local de intereses similares a la IATA, la Asociación Española de Compañías de Transporte Aéreo (ACETA) [33].

4.2.2 Principales organismos nacionales de la aviación comercial.

En el caso español disponemos de las siguientes organizaciones e instituciones reguladoras de la actividad ligada a la aviación comercial.

ACETA [33]. La Asociación de Compañías Españolas de Transporte Aéreo realiza una actividad análoga a la IATA, pero en exclusiva en territorio español, y siempre en coordinación con la IATA.

Agencia Estatal de Seguridad Aérea de España (AESA) [34]. Esta agencia estatal se encarga de regular y coordinar las normativas relativas a seguridad en territorio nacional, en coordinación con sus homólogos internacionales, además de realizar las pruebas y exámenes que conducen a diversas certificaciones y licencias, tanto ligadas a la actividad (operación, mantenimiento), como a la obtención de licencia de piloto en sus diferentes categorías. Es una agencia dependiente de la Dirección General de Aviación Civil.

Dirección General de Aviación Civil del Gobierno de España [35]. La Dir.General de Aviación Civil es el máximo organismo de la Administración del Estado Español para la regulación y normativa de la actividad relacionada con los diferentes ámbitos de la aviación civil, tanto comercial como deportiva. La parte relativa a seguridad, certificaciones y licencias se realiza desde su agencia AESA descrita anteriormente.

En cuanto al control del tráfico aéreo y la gestión de aeropuertos, la DGAC es el organismo regulador e inspector, pero la gestión y desarrollo de la actividad se realiza mediante la empresa AENA, que se describirá a continuación.

Aeropuertos Españoles y navegación Aérea (AENA) [36]. AENA es la empresa pública que gestiona el tráfico aéreo en los aeropuertos españoles. Está estructurada en dos partes diferenciadas.

- **Aeropuertos Españoles** gestiona la actividad puramente de aeropuertos, coordinando la disponibilidad de instalaciones para que las compañías atiendan a sus clientes (facturación y atención al cliente) y la asistencia a la operación (handling y mantenimiento en pista), así como los espacios comerciales dentro de los aeropuertos.
- **Navegación Aérea** es la encargada y responsable de la gestión del tráfico aéreo, siendo el personal responsable los controladores aéreos.

4.3 Gestión del tráfico aéreo.

La gestión del tráfico aéreo, o control del tráfico aéreo (ATC/ATM, "Air Traffic Control/Air Traffic Management") tiene como objetivo la gestión eficiente y segura del espacio aéreo de los países, además de los espacios aéreos internacionales [3].

Las normativas principales relativas a control de tráfico aéreo se establecen de forma internacional por la ICAO, desarrollándose en cada país por parte de la institución que corresponda. En el caso europeo, el organismo coordinador para ATC es **Eurocontrol** [37]. El principal objetivo de Eurocontrol es conseguir la gestión del espacio aéreo europeo como un cielo único, de forma que no se produzca ningún conflicto por cambios en la gestión del tráfico entre países. La idea de Eurocontrol se está implantando mediante un ambicioso proyecto, el proyecto **SESAR** (Single European Sky ATM Research) [37].

La gestión del espacio aéreo es una labor complicada y de enorme responsabilidad. Básicamente, cada país es responsable de la gestión del tráfico aéreo de las regiones que tenga por competencia, que habitualmente, van más allá de las fronteras de los países. Estas regiones se conocen como **FIR** (Flight Information Region").

Las trayectorias que siguen los aviones en estas regiones se denominan **aerovías**, y su utilización por parte de las compañías aéreas precisa el pago de unas tasas, que establecen los gestores del espacio aéreo de cada región. Previo a volar una determinada ruta, la compañía aérea debe definir y comunicar el **plan de vuelo** que seguirá el avión, y que indicará la trayectoria, altitud y aerovías utilizadas, para que los diferentes organismos de control de tráfico aéreo la conozcan de antemano.

A partir de ese momento, las torres de control de los aeropuertos relacionados con esa ruta se encargarán del control del tráfico, utilizando una red de comunicaciones radio y datos que se apoya en sistemas de comunicaciones VHF, radar y satélite, dependiendo de la fase del vuelo. Todas estas informaciones se comparten por parte de los responsables de navegación de cada país con otros países, de forma que el control del tráfico no sufra alteraciones por el paso de la aeronave por los diferentes países. En el caso de Europa, es Eurocontrol el organismo encargado de coordinar los medios ATC/ATM de los diferentes países europeos.

Además de esta labor que realizan los organismos de ATC/ATM, las compañías aéreas también controlan la actividad de sus aeronaves, desde lo que se denomina "Operational Control Centers", Centros de Control de Operaciones. Se verá este aspecto con más detalle en el apartado 4.6.

4.4 Sistemas de información y comunicaciones de las aeronaves.

En el siguiente apartado se describirán algunos de los sistemas más importantes de las aeronaves, que permiten a los pilotos el desarrollo de su labor. Estos sistemas tienen como objetivo obtener información de todos los sistemas e instrumentos de vuelo, para realizar la operación de la forma más eficiente y segura, así como de tomar decisiones con criterios técnicos seguros en el caso de cualquier tipo de incidencia [3,24,25].

Los sistemas electrónicos en las aeronaves se denominan "sistemas de aviónica", una fusión de las palabras avión y electrónica (en inglés, "avionics", fusión de "aviation" y "electronics").

4.4.1 Sistemas de información y control de la aeronave.

a. EIS (Electronic Instruments System).

El EIS es un sistema de instrumentos electrónicos compuesto por dos partes principales, y dependiendo del constructor, puede disponer de dos a cuatro computadores asociadas, y por varias pantallas, usualmente, de dos a cuatro, en función de cómo sean configuradas. Las partes del EIS son:

- **ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring).** Está compuesto de dos pantallas. En la primera pantalla se detallan datos relativos a motores, posiciones de los componentes de alas (flaps y slats), datos de combustible, y un sistema de avisos permanentes relativos a motores y alas. La segunda pantalla presenta información adicional de tipo "warnings", o de daños en caso que se produjeran.

- **EFIS (Electronic Flight Instrument System).** El EFIS es un sistema de instrumentación electrónica que recoge datos de varios instrumentos, y que son presentados en dos pantallas:
 - Pantalla **Primary Flight Display (PFD):** presenta datos de altitud, velocidad frente al aire, velocidad vertical, meteo, rumbo, desviación de la trayectoria planificada, modo de vuelo (auto o manual).
 - Pantalla **Navigation Device (ND).** Presenta varias informaciones: desviación del plan de vuelo respecto de la horizontal, mapa orientado al norte verdadero, principales parámetros de motor, desviaciones del sistema de aterrizaje.

b. **EICAS.**

El EICAS (**Engine Indication and Crew Alerting System**) es el sistema que permite disponer de forma integrada en una pantalla de la información relativa a los instrumentos de motor y de los avisos comunicados a la tripulación. Es característico de los aviones del constructor Boeing, ya que en el caso de Airbus, los datos que aporta el EICAS se presentan en el ECAM del EIS.

c. **Flight Management System (FMS).**

El FMS es una computadora cuyo principal objetivo es la de automatizar procedimientos técnicos relativos al plan de vuelo. Además, es capaz de aportar datos relativos a la operación en colaboración con el sistema de reporte automático ACARS y con el sistema GPS, que se verá posteriormente en el capítulo 4.4.2.

El FMS dispone de dos partes de idénticas capacidades para cada uno de los pilotos, una en la parte izquierda (FML, "left"), y otra en la parte derecha (FMR, "right"). Visualmente, dispone de un teclado con letras y números para que los pilotos puedan enviar mensajes, y presenta los datos en las pantallas PFD y ND del EFIS.

Dispone también de una impresora, por si los pilotos requieren la impresión de mensajería o información relativa al plan de vuelo o datos relativos al rendimiento de motores o consumo de combustible.

d. Fly By Wire (FBW).

Las aeronaves, en los últimos años, están sustituyendo actuadores que estaban manejados por componentes mecánicos, por actuadores que están manejados por componentes electrónicos. De esta forma se consigue aligerar el peso de la aeronave, además de aumentar la precisión de las acciones que realizan los pilotos. Los mandos que permiten realizar estas acciones se denominan “FBW”.

Como ejemplo visual, las antiguas aeronaves disponían de mandos que accionaban cableado y sistemas hidráulicos. Hoy en día, este tipo de mandos son parecidos a los “joystick” de las videoconsolas, siendo sistemas que realizan las acciones mediante sistemas electrónicos.

e. Inertial Reference System (IRS).

El IRS es un sistema de navegación de precisión. Está compuesto por 3 giróscopos (para medir la posición de la aeronave respecto de cada eje de coordenadas), 3 acelerómetros (para medir los cambios de aceleración en cada eje), un reloj de precisión y un ordenador.

Con estos sistemas y una serie de cálculos de precisión, es capaz de estimar la velocidad, posición y orientación sin necesidad de ningún dato externo como referencia.

4.4.2 Sistemas de comunicaciones.

Las aeronaves disponen de varios sistemas de comunicaciones, que se utilizan dependiendo de la fase del vuelo. Para este tipo de comunicaciones, las aeronaves disponen de las antenas adecuadas (VHF, HF, SATCOM) así como de radares (para información de tipo meteo y ATC/ATM).

Desde el punto de vista tecnológico, las aeronaves son un compendio de técnicas de telecomunicación que se ajustan a las necesidades de cada momento del vuelo.

a. Comunicación de voz por radio frecuencia [3].

Las comunicaciones voz por radio frecuencia VHF (espectro entre 118 y 137 MHz) han sido uno de los medios más tradicionales para las comunicaciones tierra-aeronave. Estas comunicaciones sirven para labores de control de tráfico aéreo, o para cualquier comunicación radio con los pilotos por parte de tierra que requiera el personal de la compañía operadora.

Habitualmente, el alcance de las comunicaciones radio VHF depende de que la nave se encuentre en la zona conocida como LOS ("line of sight"). Para conocer esta región, se utiliza la fórmula $d = 1.1\sqrt{h}$, donde d es la distancia LOS (en millas náuticas, NM), y h (en pies) la altitud de la aeronave respecto al suelo. Como ejemplo, a una altitud h de 25.000 pies, la máxima distancia d sería de aproximadamente 174 millas náuticas respecto del emisor/receptor VHF.

Debido a la limitación de distancia de la frecuencia VHF, las aeronaves también disponen de radio por frecuencia HF (espectro entre 3 y 30 MHz). Las ventajas de la frecuencia HF es que permiten la comunicación por radio transoceánica y sobre los polos. Desafortunadamente, el espectro HF para aeronaves es muy limitado y requiere técnicas sofisticadas para una gestión adecuada. Habitualmente se utiliza modulación Single Side Band (SSB).

b. Comunicación satélite "clásica" [3].

Aunque los servicios satélite en aeronaves están en desarrollo y empezando su aplicación en aeronaves (todavía hay impedimentos técnicos y de negocio que se analizarán posteriormente en este trabajo) las aeronaves construidas desde finales de los 90 suelen disponer de una antena satélite que permite, a través de un operador de servicios satélite, la utilización de un teléfono vía satélite, que puede utilizar la tripulación de la aeronave, o bien el pasaje, previo pago con una tarjeta de crédito.

Sus costes derivados, bastante elevados, hace que se utilice de forma bastante restringida, tanto por parte de la tripulación como del pasaje. La evolución de la tecnología debe permitir extender y hacer viables estos servicios satélite en las aeronaves, como un paso natural en el mundo del transporte aéreo.

c. Sistema GPS [3].

Las aeronaves disponen de sistemas de posicionamiento GPS, similares a los sistemas GPS que se utilizan en tierra. Para el funcionamiento de navegación GPS, las aeronaves disponen de dos antenas que se colocan en la parte superior del fuselaje, y en el panel de control de la aeronave los pilotos disponen de un monitor para la navegación GPS.

d. **Sistema ACARS** [3,26].

Uno de los sistemas más importantes de las aeronaves es el sistema de notificación y reporte conocido como ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System). Este sistema permite la comunicación de mensajes digitales en la frecuencia VHF (118 a 136 MHz), lo que se denomina VDL (VHF Data Link), de manera que se puede enviar o recibir información a la aeronave de forma automatizada y sin intervenir la tripulación. Los mensajes que se intercambian son en formato telex (mensajería tipo B), y habitualmente sirven para obtener información acerca de:

- *Información de plan de vuelo (posición de la aeronave, tiempo de paso, altitud, velocidad, desviación de ruta).*
- *Información de seguimiento (hora de salida planificada/real, hora de llegada planificada/real, puntualidad y desvíos).*
- *Información de combustible.*
- *Datos de carga y pasaje.*
- *Datos de motores y componentes de la aeronave.*
- *Datos de control de tráfico aéreo.*

El sistema ACARS permite aportar información tanto a los sistemas ATC/ATM como a los departamentos de control operacional de las aerolíneas, y es el sistema más utilizado para envío y recepción de mensajería automatizada, tanto uplink como downlink. Para interactuar con la mensajería ACARS, los pilotos utilizan el FMS.

El sistema fue desarrollado inicialmente por la compañía norteamericana Aeronautical Radio Inc. (Arinc, [38]), en 1978, y posteriormente fue desarrollándose en la industria, de forma que hoy en día está implantado por la mayoría de las aerolíneas de todo el mundo. Para el funcionamiento del sistema ACARS se precisa que las aeronaves dispongan de un equipo electrónico, antena VHF y HF, antena SATCOM y un proveedor de servicio ACARS. El sistema permite la transmisión de mensajes digitales según la comunicación disponible, combinando VHF data link (VDL) en zona LOS, y HF data link (HDL) y satélite fuera de zona LOS.

- **Equipo electrónico: ATSU (Air Traffic Services Unit).** *Este equipo es una computadora que permite la configuración HW/SW para todas las comunicaciones y sistemas que precisa el ACARS, interconectando las antenas y los computadores que procedan. El ATSU se conecta con el FMS de la aeronave. Como el FMS también dispone de una impresora, hay mensajes del ACARS que directamente salen por la impresora de la aeronave.*

- **Proveedor de servicio:** para que funcione el sistema ACARS, es necesario que un proveedor de telecomunicaciones aporte el servicio, que está configurado mediante comunicaciones VHF, y extendido por comunicaciones HDL y satélite en las zonas donde no hubiera cobertura VHF. Los grandes proveedores de comunicaciones ACARS son **ARINC** [38] en América y **SITA** (Société Internationale de Télécommunications Aeronautiques) [39] en el resto del mundo.

En la siguiente figura se describe de forma esquemática la configuración del sistema ACARS.

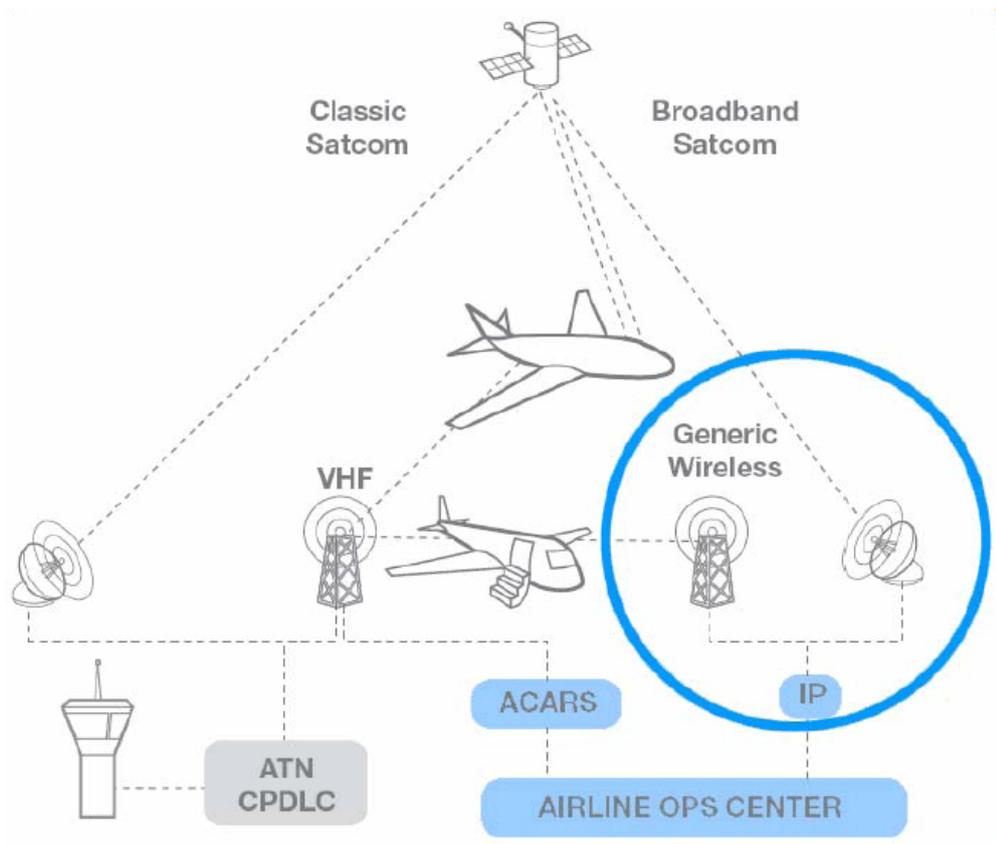


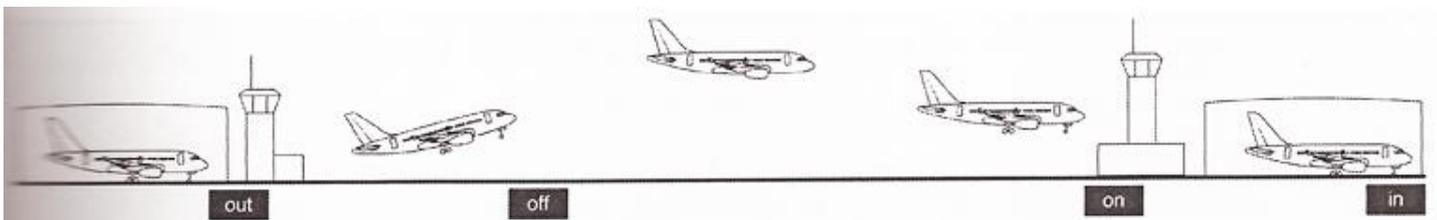
Figura 8. Esquema de comunicaciones ACARS [3,26].

e. **Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)** [3].

El TCAS es uno de los sistemas más importantes de una aeronave. Básicamente, sirve para alertar a la tripulación de que existe otra aeronave “intrusa” que invade el espacio envolvente a la aeronave, siendo las alertas que se presentan más graves en función de la cercanía a la que esté la aeronave intrusa. Si la cercanía de la otra aeronave fuera crítica las alertas son luminosas y sonoras para que los pilotos tomen acción de manera inmediata, aunque el sistema analiza una región considerable, en función de la altitud y de la velocidad a la que vaya la aeronave.

Para su funcionamiento, las aeronaves disponen de un radar secundario integrado por dos antenas que envía información a la otra aeronave de forma continua, calculando las probabilidades de colisión y alertando en función de que estas probabilidades aumenten. El TCAS dispone de un computador que procesa la información de sus componentes y de otros sistemas de navegación y posicionamiento (como son el EIS y el IRS), y presenta su información en un monitor específico. Es importante tener en cuenta que el TCAS analiza la cercanía de la otra aeronave en la vertical, nunca en la lateral. Para el funcionamiento del TCAS no se precisa información adicional a la de la propia aeronave.

Como resumen del capítulo, en la siguiente figura se describen las comunicaciones voz y datos en función de la fase del vuelo [3], así como las partes principales del cockpit [3,26].



Out	Off	“On route”	On	In
Se cierra la puerta de embarque y se quitan los calzos al avión.	Take-Off. Despegue y salida.	Aeronave en ruta.	Llegada y aterrizaje. Se acerca el avión a la puerta de embarque.	Se ponen calzos al avión.
Voz: VHF Datos: VDL	Voz: VHF Datos: VDL	En zona LOS: Voz: VHF Datos: VDL Fuera de zona LOS: Voz: HF, SATCOM. Datos: HDL, SATCOM.	Voz: VHF Datos: VDL	Voz: VHF Datos: VDL

Figura 9. Comunicaciones según la fase del vuelo OOOI [3].

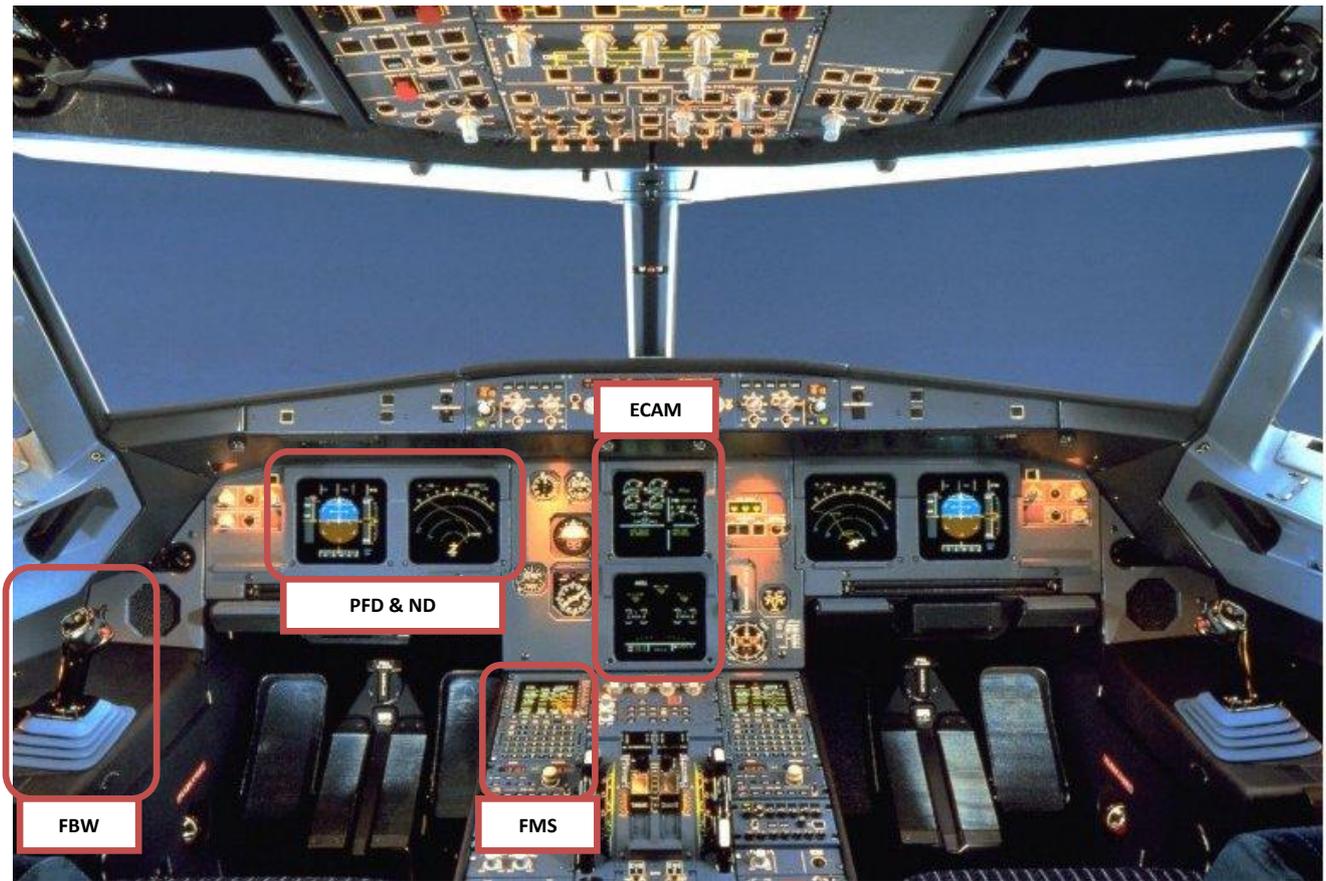


Figura 10. Partes del cockpit de una aeronave del constructor Airbus [3,26].

4.5 Control Operacional: plan, vigilancia y seguimiento de vuelos.

Además del control y gestión del tráfico aéreo que realizan los organismos de control nacionales e internacionales, las compañías aéreas deben realizar un control de sus operaciones. Habitualmente, el control operacional se realiza mediante tres sistemas, que comparten información y que están continuamente actualizándose entre ellos. En el siguiente apartado se describen estas actividades de forma somera.

4.5.1 Planificación de vuelos.

El objetivo de la planificación vuelos de las compañías (“flight planning”) es optimizar las rutas para que sean las más rápidas, eficaces, seguras, y con los mejores costes posibles. Una vez que la compañía ha realizado una programación de vuelos según la disponibilidad de aviones y tripulaciones, esta información se carga en un sistema que también dispone de los datos de las aerovías y regiones de vuelo, además de la información meteorológica, de forma que a cada vuelo se le genera un determinado plan de vuelo.

Este plan de vuelo está optimizado para volar en las mejores condiciones tanto para las compañías como para los pasajeros, además de cumplir todas las normativas que exijan los organismos reguladores y de control. Una vez generado el plan de vuelo, se entregará a los pilotos de las aeronaves, encargados de su ejecución.

4.5.2 Vigilancia de vuelos.

El objetivo de la planificación de vuelos es generar una planificación en condiciones óptimas, pero al ejecutarla, es obvio que la ruta que seguirá la aeronave puede sufrir cambios por cambiar las condiciones de vuelo (desvíos por tráfico, cambios meteorológicos, cambios por incidencias en la aeronave) por lo que las compañías vigilan la ejecución del plan de vuelo con lo que se denomina sistemas de vigilancia (“flight watch”).

El objetivo de la vigilancia es controlar los desvíos de la ruta ejecutada respecto de la planificada, para activar alertas en caso de desvíos considerables, y para realizar procedimientos de corrección en caso de que las alertas impliquen comunicar al piloto procedimientos alternativos.

4.5.3 Seguimiento de vuelos.

El objetivo del seguimiento de vuelos (“flight control”) es centralizar todas las actividades de los vuelos de la compañía en los Centros de Control Operativo, de forma que se puedan tomar acciones sobre incidencias con vuelos concretos, así como asegurar que se están cumpliendo los horarios de forma puntual, y que en caso de haber incidencias, se están ofreciendo alternativas a los clientes.

El principal parámetro que se considera en el seguimiento de vuelos es la puntualidad, factor de negocio clave en la aviación comercial. Cuando se produce un desvío de puntualidad, se debe a que no se está cumpliendo adecuadamente con una actividad programada, o bien que ha surgido alguna incidencia que ocasiona un cambio de aeronave, tripulación, o cambios en la atención al cliente que ocasionan retrasos, por lo que la compañía tiene la obligación de conocer en todo momento el seguimiento de sus vuelos. Habitualmente, las compañías aéreas revisan el cumplimiento de sus ratios de puntualidad todos los días a primera hora.

5 Aplicaciones en aeronaves (I): sistemas en cabina.

El siguiente capítulo de este trabajo tiene como objetivo describir las posibilidades de los servicios de telecomunicaciones en la cabina de una aeronave de transporte de pasajeros, aunque el diseño técnico de estas soluciones es bastante general y puede adaptarse a aeronaves similares con otros propósitos, como cargueros o aviones militares de transporte.

Es importante tener en cuenta que las soluciones descritas son técnicamente viables, pero su implantación no depende sólo de factores técnicos, sino también de factores de negocio, ya que los costes de estas soluciones son bastante más altos que en el caso terrestre [5], por lo que su implantación depende también de que las aerolíneas estudien la posibilidad de retornar la inversión, bien de forma directa con ingresos complementarios, o bien estableciendo esta solución como una medida de valor añadido respecto de la competencia [4, 5].

5.1 Escenario actual de la aviación comercial.

5.1.1 La crisis y la aviación comercial.

El actual escenario de crisis económica está suponiendo un gran desafío para cualquier compañía, sea cual sea la actividad de ésta. Desde el año 2008 la crisis está azotando de forma agresiva la mayoría de los sectores de actividad, y el sector de la aviación comercial siempre ha sido uno de los más sensibles a cualquier modificación en las variables de la actividad económica.

La aviación comercial es una actividad en la que los costes involucrados suelen ser muy altos (sobre todo los relativos a aeronaves, combustible y recursos humanos), y los márgenes de beneficios sobre la inversión suelen ser bastante reducidos, por lo que pasar de un año de beneficios a uno de enormes pérdidas suele ser bastante habitual. De hecho, se admite que es una industria cíclica, pero existen variantes en cada cambio de ciclo, ya que compañías exitosas en un ciclo pueden arruinarse y acabar en banca rota en el siguiente.

En los últimos años, la tendencia de las compañías aéreas ha sido fusionarse para formar compañías de gran tamaño que reúnen varias compañías operadoras, con lo que se logran varios beneficios directos a la hora de racionalizar los costes, además de una mejora en la capacidad directa para competir. En Europa tenemos dos ejemplos claros, como es la fusión de la española Iberia con la operadora británica British Airways para formar IAG (International Airlines Group) [71], o el caso del grupo Air France - KLM [72], fusión de la francesa Air France y la holandesa KLM.

5.1.2 El fenómeno “low cost”.

El “low cost” es el gran fenómeno a destacar en el mundo de la aviación comercial. Las aerolíneas de bajo coste, también denominadas LCC (“Low Cost Carriers”) consiguen obtener beneficios con una oferta de tarifas baja en comparación con las operadoras tradicionales, operando mayoritariamente en rutas de corto y medio radio, ya que suelen utilizar aeronaves de tamaño reducido, que aunque llevan menos pasaje, permiten una operación más ágil.

El secreto de las aerolíneas de bajo coste se basa en una política de costes radical: se ofrece un servicio básico, sin diferenciar clases de pasaje, en aeropuertos secundarios, con rutas de punto a punto, subcontratando la mayoría de los servicios de tierra en cada país con la oferta más económica. Debido a que las ofertas de vuelos son económicas, se pueden obtener beneficios operando con máxima eficiencia, esto es, si consiguen llenar todos los vuelos y mantener un ratio alto de operación (máximo legal de vuelos por día) y buena puntualidad (para no detener la aeronave más que por necesidades de abastecimiento o mantenimiento).

Gracias a este sistema, las LCC han conseguido que gran parte de personas que no solían volar por limitaciones económicas, sean asiduos pasajeros, con lo que se han posicionado en el mercado explotando un nicho que no estaba bien localizado por parte de las operadoras tradicionales. Además, su agresiva política de tarifas y oferta comercial, y la situación de crisis actual, ha hecho que muchos clientes de las operadoras tradicionales prefieran ofertas baratas a servicio, incluso haciendo que el cliente de clase preferente y business pase a utilizar las LCC.

El resultado es que las compañías de bajo coste y las operadoras tradicionales se han visto obligadas a competir por una importante parcela de clientes, por lo que se requiere mucha innovación en la aviación comercial para lograr la supervivencia. Algunas de las compañías LCC más conocidas son Easy Jet [74], Ryanair [75], Air Berlin [76] y Virgin [77].

5.1.3 Estrategias para competir mejor.

Una de las características naturales de la aviación comercial es una gran capacidad de adaptación, pues es necesaria no sólo para competir, sino incluso para sobrevivir, ya que el entorno habitual suele ser bastante hostil. Es este escenario, las estrategias de las aerolíneas son principalmente dos.

a. *Estrategias de compañía.*

Las estrategias de compañía tienen como principal objetivo lograr que las variables de negocio sean más controlables. Estas estrategias se enfocan principalmente en optimizar los costes y aumentar los ingresos, mediante las siguientes iniciativas.

- I. **Fusiones entre compañías operadoras.** Crear mayores grupos empresariales permite comprar con un factor de escala mucho más favorable, sobre todo cuando los costes importantes (aeronaves y combustible) son elevados y muy sensibles a los movimientos financieros internacionales. Además, al disponer de varias operadoras, se puede adaptar cada operadora a un mercado determinado, con lo que se consigue un equilibrio de ingresos/gastos mucho mejor.

- II. **Creación de acuerdos de negocio sobre mercados potenciales.** Los mercados de transporte de pasajeros están bastante bien identificados, siendo el mercado del Atlántico Norte (América del Norte - Europa) y Europa - Asia los de mayor potencial. En el caso del Atlántico Norte, el acuerdo más exitoso está siendo la "Joint Business" entre American Airlines, Iberia y British Airways [83].

En el caso del mercado asiático, se están desarrollando compañías en oriente medio con un gran potencial, como son Emirates [78], Etihad [80], Saudi Arabian [79] y Qatar Airways [80], que es probable que tengan acuerdos a futuro, ya que deben competir en ese mercado con la australiana Qantas [82] y con las aerolíneas chinas como China Eastern [84], por lo que la situación en Asia será similar a lo que sucede ahora en el Atlántico Norte.

Debe tenerse en cuenta que el desarrollo comercial de los gigantes asiáticos (China y la India), hace pensar que puede existir un hub de conexión Europa - Asia situado a medio camino, esto es, en Oriente Medio, por lo que los jugadores de esta región tendrán una posición fuerte.

Asia es el mercado emergente de la primera parte del siglo XXI, por lo que el desarrollo del mercado EU - Asia es inmediato, pero también tiene sentido pensar en el desarrollo del mercado asiático por el lado del Pacífico con América en las próximas décadas, haciendo competir a aerolíneas americanas, asiáticas y del Pacífico Sur.

- III. **Creación de operadoras más pequeñas para competir con las LCC.** Debido a que la competencia de las LCC es muy fuerte y no es posible adaptar el modelo de las compañías tradicionales a éste, una estrategia alternativa es la creación de compañías más pequeñas que operan en corto y medio radio de forma parecida a las de bajo coste, pero manteniendo clases de pasaje preferente y manteniendo un nivel de servicio muy similar a la de las compañías tradicionales, ya que operan en los mismos aeropuertos y con los mismos servicios de tierra.

De esta forma, se consigue competir con las compañías LCC y seguir manteniendo clientes en toda la red comercial, con la ventaja de que los costes son más competitivos.

Un ejemplo de esta estrategia es la compañía operadora Iberia Express [73], compañía de Iberia que operará los vuelos de corto y medio radio de Iberia [85] con tarifas más flexibles, ofertando un servicio similar y alimentando la red comercial de la compañía matriz.

b. Estrategias de segmentación y producto.

Las estrategias de segmentación y producto tienen como objetivo mejorar los ingresos, consiguiendo que los productos ofertados sean mejores que los de la competencia mediante un modelo de valor añadido. Es natural pensar que un producto mejor implica precios mayores, pero en estos casos, la clave no está en pensar que el producto ofrecido es caro, sino en que la diferencia del producto ofrecido respecto de la del competidor es la razón para que lo adquiera el cliente.

Desde este punto de vista, teniendo en cuenta que los pasajeros de clases más económicas se orientan a compañías LCC y a las operadoras de bajo coste de las compañías tradicionales, los productos de valor de las compañías tradicionales están orientados a hombres de negocios y pasaje de medio/alto nivel adquisitivo, con lo que ofrecer un producto mejor por un precio más elevado no es una limitación, sino una estrategia de competición mediante valor añadido.

Debe tenerse en cuenta que en un avión comercial disponer de telecomunicaciones suele ser complicado y con un coste elevado, pero si estas telecomunicaciones se ofrecen a un cliente que está dispuesto a pagarlas, no sólo se le ofrece algo que es un servicio que necesita, sino algo que supone un valor añadido respecto la competencia.

5.2 Problemática de las comunicaciones en cabina.

A lo largo de la siguiente sección se supondrá que se están considerando aeronaves comerciales, en las que existe al menos dos clases de pasaje (turista y preferente). Aunque las soluciones descritas son válidas para aeronaves de corto y medio radio, la orientación de estas soluciones es más adecuada para pasajeros de largo radio, donde la duración de los vuelos hace más natural la necesidad de comunicaciones de voz y de datos.

5.2.1 Equipos electrónicos portátiles en la aeronave. Precauciones.

La utilización de equipos electrónicos en la aeronave está restringida a un determinado tipo de equipos, además de que sólo debe realizarse durante la fase del vuelo que indique de forma explícita la tripulación. Esta norma se debe a que los equipos electrónicos crean campos electromagnéticos que pueden generar interferencias con los equipos de aviónica de la aeronave, por lo que en caso de usarlos, se podría ver comprometida incluso la operación de la aeronave.

Tanto EASA en Europa como la FAA en Estados Unidos tienen regulados estos aspectos. En el caso de EASA, existe una guía de utilización de equipos electrónicos tanto para tripulantes como para pasaje, "Guidance concerning the use of **portable electronic devices (PED)** on board aircraft" [5,44]. En este tipo de normativas se describen los diferentes usos de los PEDs, así como las frecuencias aeronáuticas restringidas en las que no se puede realizar ningún tipo de comunicación, intencionada o accidental, pudiendo ser sancionado el infractor [5].

Debe tenerse en cuenta que cuando la tripulación demanda al pasaje apagar un equipo electrónico, no le está indicando que desactive la comunicación del equipo, sino también el funcionamiento de dicho equipo. La razón es que siempre que el equipo tenga energía, puede emitir radiaciones electromagnéticas, y lo que se quiere es evitar cualquier radiación que produzca interferencias.

Consecuentemente, dotar al pasaje de alguna solución de telecomunicaciones requiere establecer un procedimiento operativo para la tripulación. La tripulación será la que disponga la capacidad de activar/apagar la solución de telecomunicaciones según la fase de vuelo, así como de revisar que el pasaje ha desactivado sus PEDs. Todos los sistemas involucrados en estas soluciones requerirán el visto bueno de las autoridades, tanto técnicamente, como en cuanto a los procedimientos relacionados para su funcionamiento.

5.2.2 Equipos de entretenimiento “off line”.

Desde hace bastantes años, las aeronaves disponen de sistemas de emisión de audio y vídeo “off line”, es decir, sin comunicación con el exterior de la aeronave. Estos sistemas de emisión de audio y vídeo han ido evolucionando con los años para disponer de mayores capacidades en cuanto a la calidad de la imagen y sonido, pero en esencia son reproductores de vídeo y audio que han sido modificados para que se puedan utilizar en la aeronave con el visto bueno de las autoridades.

Lo habitual es que los sistemas de sonido se puedan conectar en cada asiento de pasajero mediante unos auriculares personales, mientras que los sistemas de vídeo pueden ser una pantalla compartida cada varias filas de asientos en las clases económicas o una pantalla individual para cada pasajero en el caso de asientos de clase preferente o business. Los sistemas de este tipo se denominan IFES (In Flight Entertainment Systems). ETSI ha desarrollado un “technical report” en el que describe las recomendaciones que han de cumplir estos sistemas para evitar incompatibilidades electromagnéticas con la aviónica de la aeronave (ETSI TR 102 631 v1.1.1, 2008-09) [42].

En la siguiente figura se describe el proceso habitual que supone cualquier innovación técnica en el campo de las aeronaves [4].

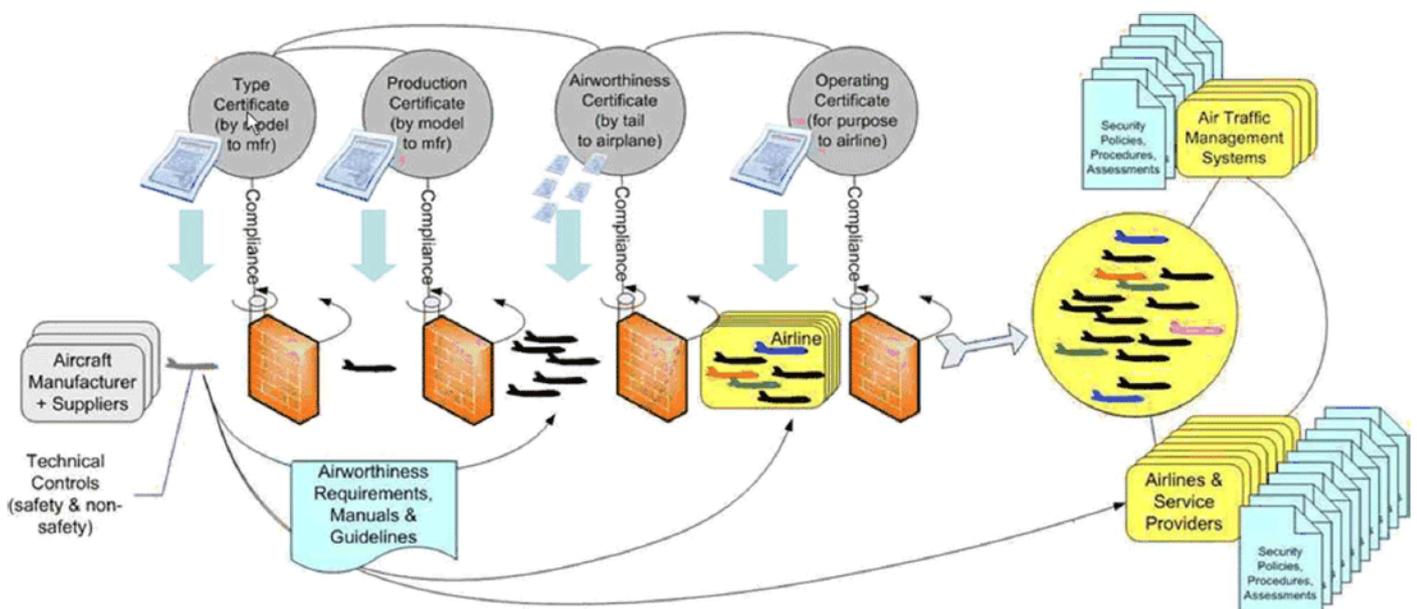


Figura 11. Fases de revisión. En la siguiente figura se puede observar el proceso de revisión y aprobaciones que requiere cualquier innovación en la industria de la aviación comercial. En cada fase, se debe contar con el visto bueno de la autoridad pertinente, lo que ocasiona que los avances tecnológicos sufran un retraso respecto a otras industrias “terrestres” [4].

5.3 Modelo de comunicaciones en cabina.

5.3.1 Servicios demandados.

A la hora de plantear una solución de comunicaciones en cabina, es bastante importante escoger qué tipo de solución se ofertará. Pero esta solución ofertada también depende de las capacidades en cuanto a los dispositivos que utilicen los pasajeros. En los últimos años, el desarrollo de los dispositivos portátiles ha sido espectacular, especialmente desde el lanzamiento del Apple iPhone en 2007, el “killer device” de los equipos móviles [70].

Esta nueva generación de equipos ha propiciado el desarrollo de aplicaciones y servicios que han convertido a los usuarios en usuarios de multidispositivos y multiaplicaciones, estando muy embebidos los conceptos de aplicaciones de trabajo, aplicaciones personales y aplicaciones de entretenimiento [70]. Por lo tanto, se puede suponer sin pérdida de generalidad que la mayoría de los usuarios disponen de teléfonos móviles con grandes capacidades de cómputo (“smart phones”), de equipos portátiles tipo PC o bien de equipos de tipo tablet, como puede ser el Apple iPad [70].

Los dispositivos táctiles, como las tablet o similares, están siendo una de las bases más consistentes para aumentar las capacidades digitales de los tripulantes técnicos y de pasaje [86,87]. Este tema será analizado con más detalle en el capítulo VI de este trabajo, en la que se estudiarán en especial los dispositivos de tipo EFB (Electronic Flight Bag).

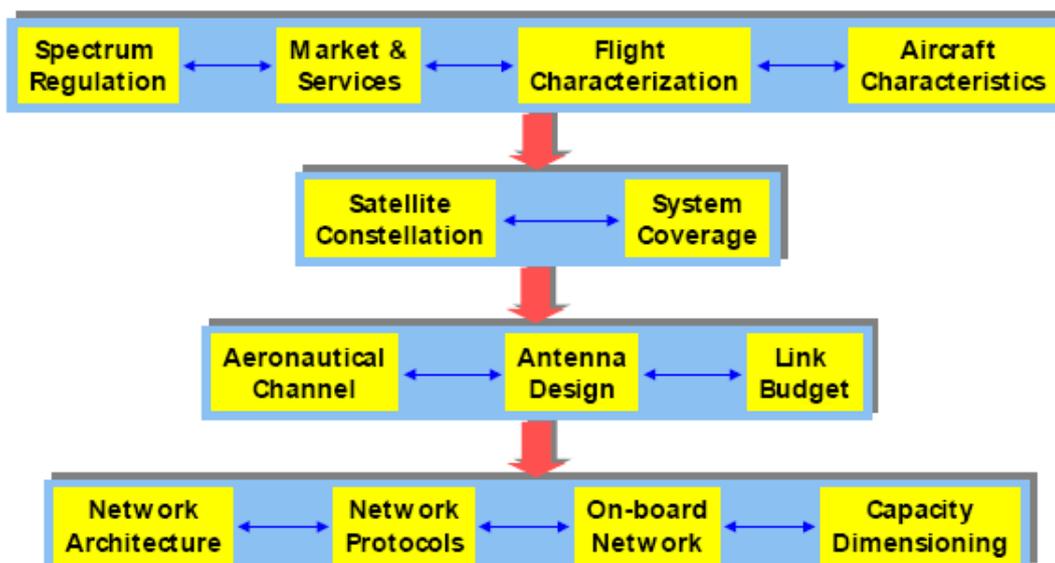


Figura 12. Fases de diseño. Diferentes fases que debe pasar una solución de telecomunicaciones orientada a aeronaves, bastante más exigente que en el caso terrestre [46].

Una solución a bordo de la aeronave adaptada a las capacidades de los usuarios debe estar orientada a ser de tipo radio. De esta forma, se obtienen dos beneficios directos: uno, que los usuarios no precisan de cableado para acceder a las comunicaciones, haciendo esta conexión más práctica y cómoda. Y el segundo, evitar problemas de incompatibilidad electromagnética: introducir cableado en el avión no es un tema trivial, porque supone pasar por el filtro de las autoridades de forma que esa instalación se pueda certificar. Consecuentemente, las comunicaciones radio son la solución más flexible en cabina, ya que son las de menor impacto sobre la seguridad de la aeronave (desde el punto de vista de compatibilidad electromagnética), además de ser las más cómodas de usar a bordo.

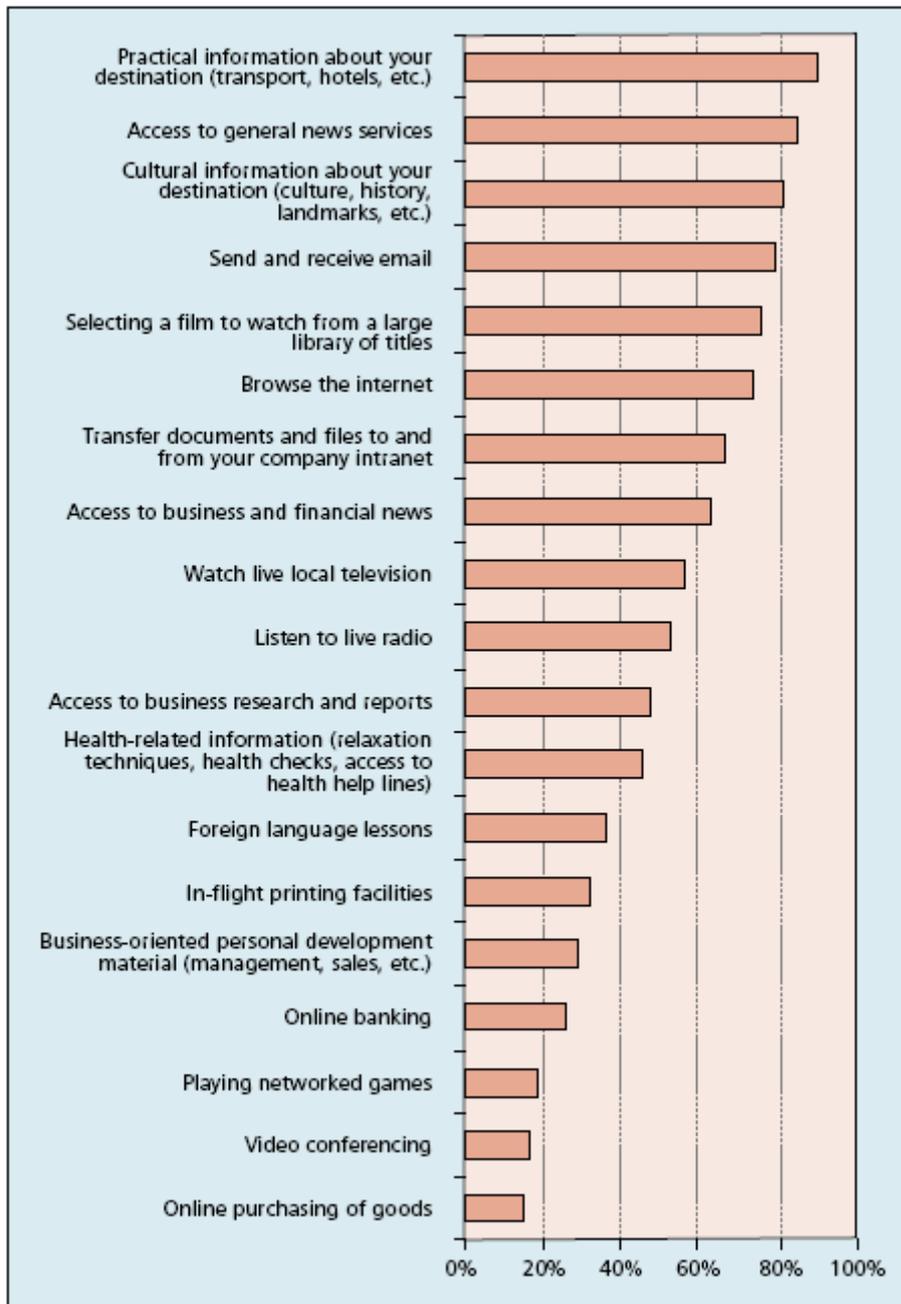
Category	Services
Infotainment	www, email, live TV, gambling, phone, intelligent travel information
Office	email, www, phone, fax, video-conferencing, file transfer
Telemedicine	video conferencing, vital data transmission
Flight security	cabin survey, cockpit survey, flight recorder data transmission
Logistics & maintenance	video and audio server upload, aircraft maintenance data

Figura 13. Tipos de servicio. En este cuadro puede verse una clasificación general de los principales tipos de servicio que podrían aportar beneficios al contar con la posibilidad de tener comunicaciones en cabina [45].

Service requirements (-- to ++ increasing requirements)

service	flight duration category	bit rate	delay/jitter	BER	protocol / data format	remark
phone	all	--	++/++	o	GSM, ISDN	
fax	long	--			ISDN	
gambling	all				TCP/IP, mobile IP	
email	all	--	--		TCP/IP, mobile IP	
www	all	o	--		TCP/IP, mobile IP	
intelligent travel information	all	o	--		TCP/IP, mobile IP	special www service
file transfer	long		--		FTP, TCP, mobile IP	
vital data transmission	all	o	o			
cabin/cockpit survey	all		o			
flight recorder data	all		+			
maintenance data	all		--			
video-conferencing	long		++/++	o		
audio server upload	all		--	--	MP3	multicast
video server upload	long		--	--	MPEG	multicast
live TV	long		++	o	MPEG	broadcast

Figura 14. Clases de servicio. En el siguiente cuadro se puede ver una clasificación de servicios en cabina, y los diferentes requerimientos y características de las comunicaciones de cada uno de ellos [45].



Services passengers thought important to use onboard an aircraft.

Figura 15. Servicios demandados. En la figura anterior se pueden analizar diferentes tipos de servicios demandados por los usuarios, según la importancia de éstos. Este estudio estadístico fue realizado por investigadores del DLR (German Aerospace Centre [69]), y publicado en un journal del IEEE [5].

5.3.2 Comunicaciones radio en la aeronave y ajuste de frecuencia.

Una vez que se ha expuesto que las comunicaciones radio son las adecuadas, el siguiente punto a resolver es que tipo de comunicaciones radio se pueden ofrecer de forma que estas comunicaciones no produzcan interferencias con la aviónica de la aeronave.

En este caso, no hay muchas opciones de flexibilidad, pues los espectros de frecuencia de las comunicaciones de la aeronave no son negociables, por lo que las alternativas deben pasar por utilizar frecuencias validadas de antemano. En este caso, tomando como referencia las normas de EASA en Europa y de la FAA en Estados Unidos, las únicas posibilidades es utilizar las variantes de GSM [88] y del estándar IEEE 802.11 [89] que sean compatibles con la aviónica de la aeronave.

Dentro del estándar IEEE 802.11, la idea sería usar una red de tipo WLAN (wireless LAN) en la que la variante fuese compatible. En el siguiente cuadro se pueden ver las frecuencias compatibles con la aviónica de la aeronave.

Omega navigation 10...14 kHz	ADF 190...1750 kHz	HF 2...30 MHz	Marker beacon 74.85, 75, 75.15 MHz	VOR, localizer 108...118 MHz	VHF COM 118...136 MHz	Glide slope 328...335 MHz
GSM 400 450.4...467.6 MHz 478.8...496 MHz	GSM 850 824...894 MHz	GSM 900 876...960 MHz	DME 960...1220 MHz	TCAS/ATC 1030,1090 MHz	GPS 1575 MHz	SATCOM 1529, 1661 MHz
GSM 1800 1710...1880 MHz	European UMTS 1880...2025 MHz 2110...2200 MHz	GSM 1900 1850...1900 MHz	IMS band: WLAN 802.11b,g Bluetooth, Home RF 2446.5...2483.5 MHz	Low-range altimeter 4.3 GHz	Microwave landing system 5.03, 5.09 GHz	WLAN 802.11a 5150...5350 MHz
Weather radar 5.4 GHz	WLAN 802.11a 5725...5825 MHz	Weather radar 9.3 GHz	Sky radio 11,700 MHz	DBS TV 12.2...12.7 GHz	Frequency separation regulated by International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland	

Frequency separation; the aircraft NAV/COM frequencies are indicated in blue; other radio services do not interfere with these frequencies.

Figura 16. Cuadro de frecuencias específicas para navegación y comunicaciones de la aeronave (celdas azules), complementadas por las frecuencias que no interfieren (celdas rosadas). Este análisis fue realizado por investigadores del Instituto de Comunicación y Navegación del DLR (German Aerospace Centre) en 2003 [5]. En estudios posteriores [91] del año 2010, se ha demostrado que la variante IEEE 802.11 b es compatible y no genera interferencia con la adecuada distribución de los puntos de acceso a bordo.

A la hora de utilizar tecnología radio, la opción Wi-Fi (Wireless Fidelity [66]) es una opción bastante práctica pues se puede implementar en varios de los estándares del IEEE 802.11 [64], como puede verse en la siguiente figura.

Wi-Fi Technology	Frequency Band	Bandwidth or maximum data rate
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz, 2.4 or 5 GHz (selectable), or 2.4 and 5 GHz (concurrent)	450 Mbps

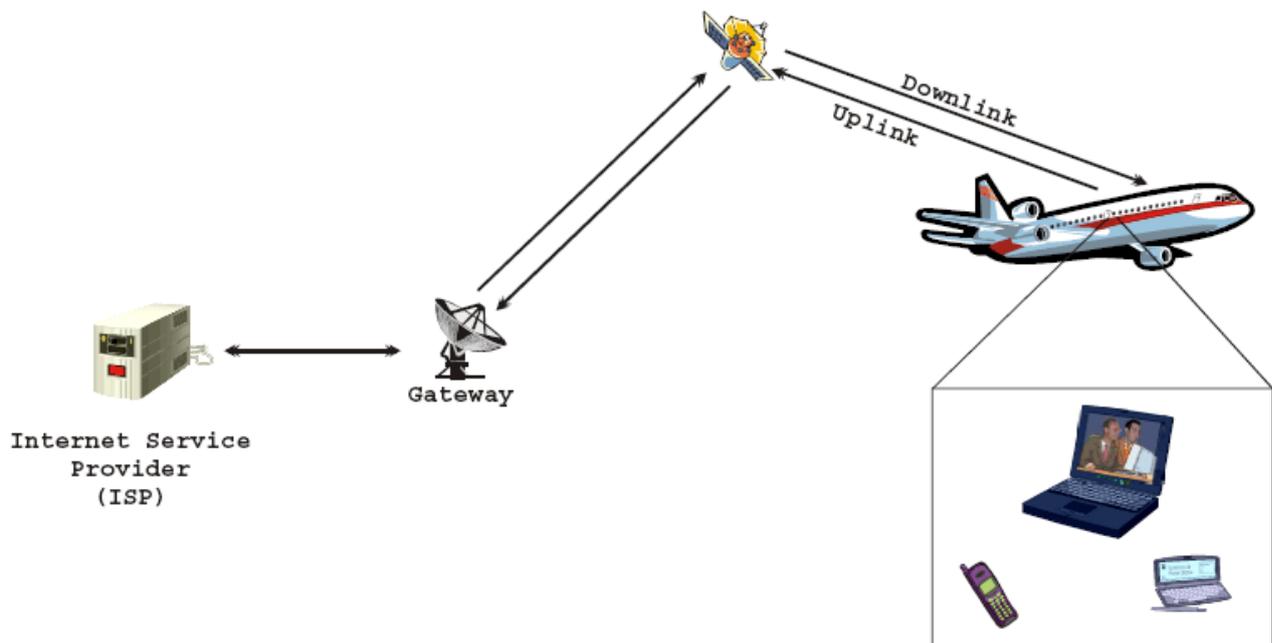
Figura 17. *Wi-Fi y capacidad según el estándar del IEEE 802.11 [66].*

Aunque la capacidad de cualquiera de las tecnologías IEEE 802.11 aporta un caudal de bits bastante considerable, debe tenerse en cuenta que el problema no es la capacidad de la red WLAN, el problema es llevar las comunicaciones hasta la aeronave con suficiente caudal para aportar un servicio razonable.

5.3.3 Provisión de servicio.

Una vez que se ha establecido que las comunicaciones radio son factibles en cabina, siempre y cuando se utilicen en la frecuencia adecuada, el siguiente punto a resolver es cómo llevar la telecomunicación a la aeronave. Evidentemente, cuando la nave se encuentra en zona LOS (line of sight), es posible obtener comunicaciones radio terrestres, ya que la nave está en aproximación a tierra o después de despegue, pero en dichas fases no se pueden utilizar PEDs, por lo que se descarta la comunicación terrestre.

La alternativa más razonable y que no compromete la operación es utilizar una conexión satélite con la aeronave en fase de crucero, esto es, a partir de cuando la nave alcanza la altitud óptima de vuelo tras despegue (TOC: "top of climb"). Esta fase de crucero durará hasta llegar al TOD ("Top of Descent"), el punto en el que se comienza la aproximación para aterrizaje. En fase de crucero la tripulación permite al pasaje el uso de equipos PED sin conexión exterior. Básicamente, un esquema simple podría ser el siguiente.



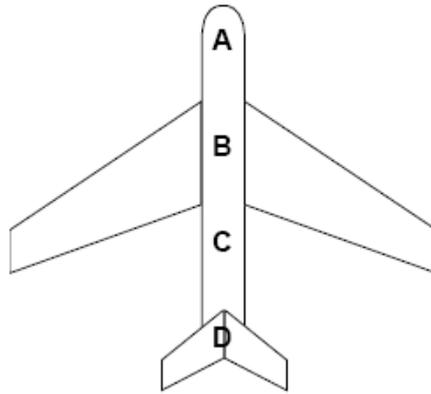
AirCom Internet: Bringing the Internet to passengers

Figura 18. Esquema simple de provisión de servicio SATCOM a aeronaves [48].

Aunque el esquema pueda parecer sencillo, hay consideraciones importantes.

a. *Posición de las antenas.*

Para una óptima recepción de la señal del satélite, la aeronave debe disponer de antenas satélite, que no perjudiquen la aerodinámica de la nave. Los constructores colocan estas antenas en la parte superior del fuselaje, de forma que se logre un impacto aerodinámico mínimo, así como evitar cualquier incompatibilidad electromagnética. Lo usual es que haya entre 2 y 4 antenas de este tipo, como puede verse en las siguientes figuras.



Potential antenna positions (top view)

Figura 19. Posición de las antenas en la parte superior de la aeronave [45].



Figura 20. Airbus A380, la actual aeronave líder en soluciones tecnológicas. Se puede observar las antenas en la parte superior del fuselaje [67].

b. *Movimiento de la aeronave y del satélite. Consideraciones geométricas.*

Respecto al movimiento de la aeronave, hay una cuestión importante, derivada puramente de la geometría. La trayectoria que sigue una aeronave entre dos puntos (origen - destino) se optimiza para ser la más corta, obviamente, para conseguir la óptima gestión de combustible y mínima duración del vuelo. Pero la trayectoria óptima no es una línea recta, pues la superficie de la tierra es una esfera. La trayectoria óptima entre dos puntos sobre una esfera es el arco más corto de la línea geodésica que los une, uno de los problemas clásicos del Cálculo Variacional [89,90].

Esta conclusión se debe a un problema clásico de la geometría, en el que el objetivo es calcular las curvas de distancia mínima sobre una superficie, mediante técnicas de optimización. Considerando el caso de la esfera, la geodésica, la línea de mínima distancia, es una circunferencia. El arco de circunferencia más corto que une los puntos es la solución del problema [89,90].

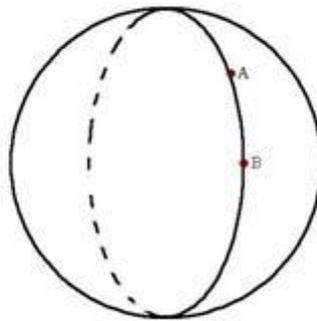


Figura 21. Línea geodésica entre los puntos (A) y (B) [89,90].

Esto implica que en latitudes altas, algunas trayectorias de aeronaves de largo radio se acercan a los polos, lo que ocasiona que los satélites GEO tengan serios problemas de cobertura, por lo que el servicio de provisión satélite debe combinar satélites de tipo GEO en unas regiones y MEO/LEO en otras, requerimiento importante para el proveedor de servicios satélite.

Además, el ángulo de inclinación de la aeronave respecto del horizonte virtual también influye en estas consideraciones, que todavía condiciona más las hipótesis y requerimientos de cobertura, como se puede ver en la siguiente figura.

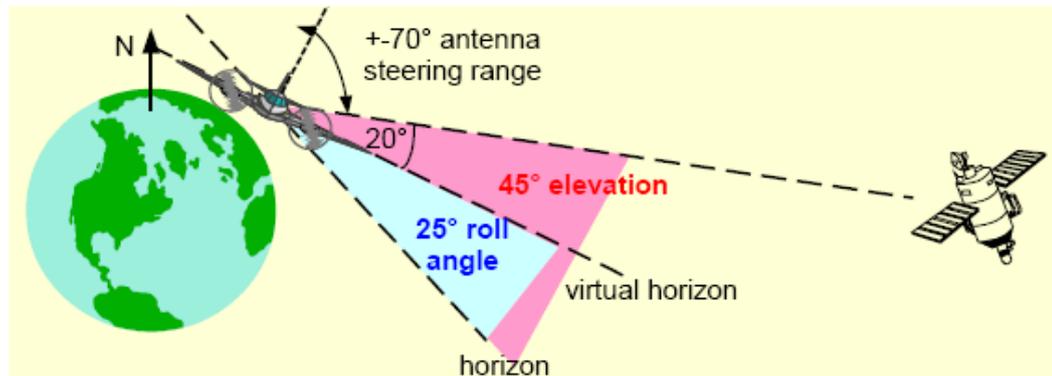


Illustration of relevant angles concerning aircraft-satellite visibility.

Figura 22. *Ángulos relativos de la aeronave respecto del satélite [46].*

Consecuentemente, teniendo en cuenta que la trayectoria de los vuelos de largo radio pueden pasar por latitudes altas (por encima de 50° N/S), y los ángulos de inclinación de la aeronave respecto del horizonte virtual, se puede concluir que la cobertura satélite en el caso de aeronaves para satélites GEO sería adecuada para latitudes no mayores de 40° , teniendo en cuenta que el ángulo de elevación de la aeronave respecto del horizonte virtual no fuera superior a 20° . Para latitudes superiores a 40° (N/S), se debería realizar la provisión de servicio con satélites MEO y/o LEO [46].

5.3.4 Primeros diseños de servicio: DLR (2004).

Una vez que se han descrito las consideraciones generales acerca de la provisión de servicio, el siguiente problema a estudiar es el caudal de bits por segundo que se puede ofrecer para garantizar una mínima calidad de servicio. Debe notarse que este tema no es menor, pues el caudal a ofertar en un servicio satélite es casi siempre compartido con otros clientes, por lo que la petición a realizar al proveedor debe tener un fundamento técnico. También hay que tener en cuenta que estos servicios satélite tienen costes bastante más elevados que en el caso terrestre, por lo que también hay restricciones de tipo económico.

Un trabajo interesante fue el realizado en 2004 por investigadores del DLR, trabajo publicado en el IEEE Communications Society [48]. En este trabajo, los autores presentan los resultados de una simulación de varios servicios para pasajeros con diferentes QoS, considerando varios tipos de aeronave en rutas de largo radio cruzando el Atlántico Norte. En este trabajo, que hace referencia a varios artículos en los que habían trabajado previamente, realizan simulaciones utilizando modelos de usuario que toman como referencia un modelo de usuario de ETSI de 1998, y que modifican para actualizarlo y ajustarlo a los diferentes servicios que simulan en las diferentes aeronaves comerciales de tipo “wide body” (Airbus A340, A380, Boeing 747, 767, 777). Los perfiles de los usuarios por aeronave, con sus servicios demandados asociados, fueron los siguientes.

Aircraft	Number of Passengers in			Addressable Market		Achievable Market	
	First	Business	Economy	Phone	Internet	Phone	Internet
A340	12	40	211	263	73	73	37
A380	22	96	437	555	162	162	81
B747	23	82	321	426	137	137	69
B767	19	48	168	235	84	84	42
B777	25	57	240	322	106	106	53
MD11	23	55	197	275	98	98	49

MOST COMMON AIRCRAFT TYPES USED FOR NORTH ATLANTIC FLIGHTS.

Aircraft	Number of Users	AirCom Internet Services Mean Data Traffic in kbps	
		in	out
A340	37	33	4
A380	81	73	8
B747	69	62	7
B767	42	38	4
B777	53	48	5
MD11	49	44	5

INTERNET TRAFFIC MEAN DATA RATES.

Figura 23. Perfiles simulados en el trabajo de estimación de caudal del DLR [48].

Tras realizar las simulaciones, los autores concluyen los siguientes resultados.

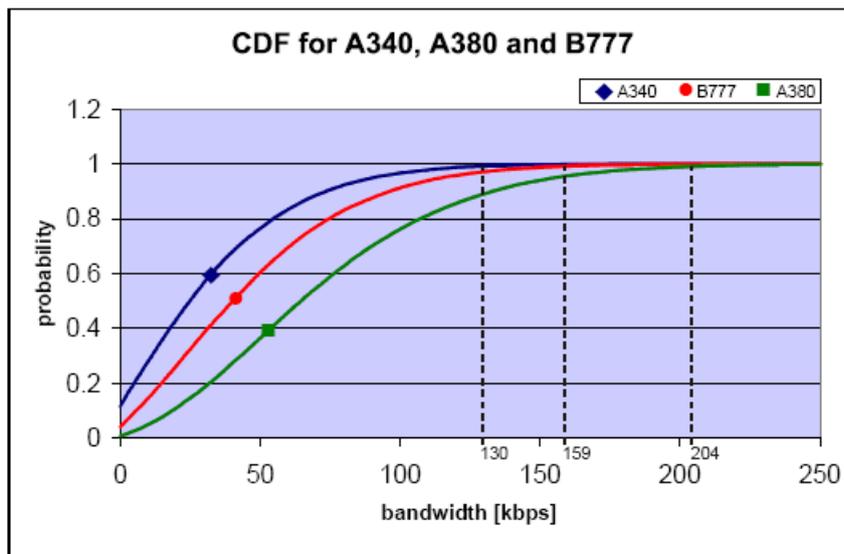
Aircraft Type	Internet user number	Expected mean input Rate [bps]	Simulated mean input rate [bps]
A340	37	33341	33318
A380	81	72991	73110
B747	69	62177	62073
B767	42	37847	37725
B777	53	47759	47863
MD11	49	44155	44123

SIMULATION RESULTS FOR EACH AIRCRAFT TYPE

Figura 24. Resultados de la simulación para cada aeronave [48].

Los autores concluyen que para garantizar calidad de servicio durante el 99% del tiempo de vuelo (fase de crucero) se precisa un canal satélite de al menos 204 Kbps para un Airbus A380, 159 Kbps para un Boeing 777 y 130 Kbps para un Airbus A340 [48]. Estos resultados son los más importantes a considerar porque el mercado mundial del largo radio tiene como líderes indiscutibles a estos modelos de aeronave. No obstante, también debe considerarse el caso del Boeing 747, que sigue operando de manera bastante exitosa, y cuyo caudal requerido sería de 185 Kbps [48].

AirCom Internet Services				
Model	No. Users	Mean Rate	Required Capacity	Capacity to mean ratio
A340	37	33	130	3.99
A380	81	73	204	2.79
B747	69	62	185	2.98
B767	42	38	139	3.66
B777	53	48	159	3.31



Comparison of the CDF's for A340, B777 and A380.

Figura 25. Estimaciones de caudal para cada modelo de aeronave "wide body" [48].

5.4 Solución para comunicaciones de voz.

5.4.1 Servicios de voz para pasajeros. Problemáticas y alternativas.

Las comunicaciones de voz para el pasaje hace años que se han facilitado para el pasaje mediante teléfono vía satélite, tal como se ha descrito en el capítulo (IV) de este trabajo. No obstante, esta solución obligaba al uso de un teléfono portátil de tipo público, de aspecto poco atractivo y teniendo que introducir el usuario los datos de una tarjeta de crédito. Esta solución era, además de poco práctica, no demasiado elegante.

En los últimos años de la primera década del siglo XXI ha habido varias propuestas de fabricantes para presentar una solución muy práctica y elegante [63,65]: una red de telefonía GSM a bordo, establecida mediante una conexión satélite. Esta solución aporta numerosas ventajas directas:

- ☑ Es una red que se activa/desactiva por parte de la tripulación.
- ☑ Permite utilizarla a cualquier pasajero, pues utiliza tecnología GSM [88], compatible con cualquier tipo de teléfono móvil.
- ☑ No precisa previo pago por parte del pasajero, pues el consumo será facturado al pasajero mediante acuerdos de roaming internacional del proveedor satélite con el proveedor de telefonía móvil del pasajero.

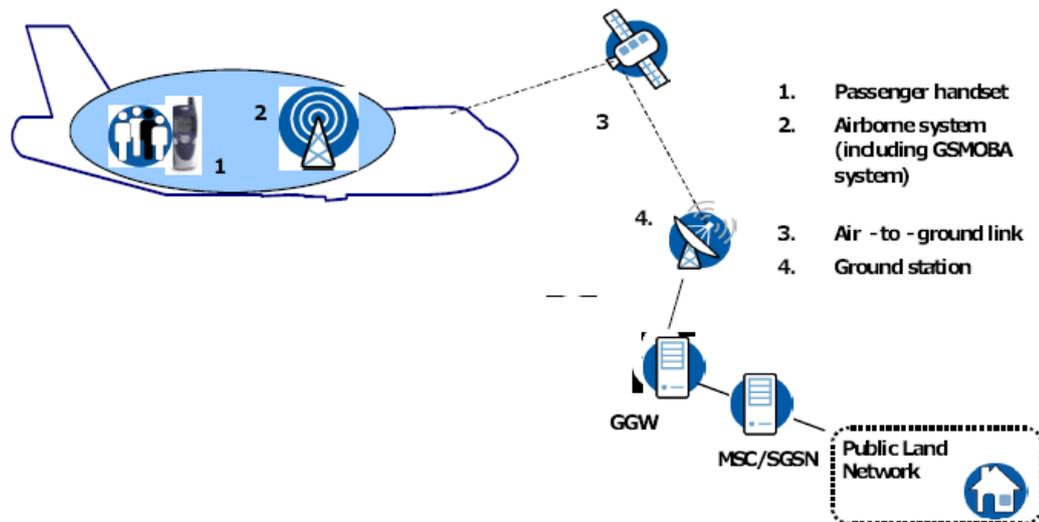
Por consiguiente, es una solución bastante práctica en cuanto a sus aspectos básicos de funcionamiento. Este tipo de redes cuentan además con un estándar de ETSI:

ETSI EN 302 480 v1.1.2 (2008-04): *“Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters. Harmonized EN for the GSM onboard aircraft system covering the essential requirements of Article 3.2 of the R&TTE Directive”* [43].

No obstante, los servicios de voz tienen sus inconvenientes para el negocio. El facilitar al pasaje la posibilidad de utilizar comunicaciones de voz puede ocasionar molestias sobre los pasajeros que no las usen, lo que en ocasiones puede suponer incluso conflictos en los que tuviera que intervenir la tripulación. Es por esta razón por la que este tipo de redes GSM a bordo, denominadas GSMOBA (GSM onboard aircraft), sean más exitosas en aeronaves de tipo jet para pasajeros de alto nivel adquisitivo, donde a bordo de la aeronave van muy pocos pasajeros y relativamente aislados. No obstante, la solución es técnicamente factible en cualquier tipo de aeronave.

5.4.2 Solución para comunicaciones de voz: red GSM a bordo (GSMOBA).

La solución para la construcción de una GSMOBA se puede seguir mediante el estándar ETSI EN 302 480 [43]. El esquema general de la solución es el siguiente.



Overview of the GSMOBA system and associated transmission components

Figura 26. Esquema general de una GSMOBA [43].

Los componentes del sistema son los siguientes.

- **Antena** de recepción/envío de la señal satélite.
- **NCU** (Network Control Unit). Se encarga de recibir la señal del satélite, así como de enviarla cuando la recibe de la OBTS.
- **OBTS** (Onboard Base Transceiver Station). Este equipo es el responsable de la transmisión y recepción de señal GSM de los móviles de los pasajeros.

La tripulación dispondrá en todo momento del control que permite activar y desactivar la red, por lo que se asegura su funcionamiento sólo en caso de que la operación lo permita. No obstante, la tripulación deberá recordar al pasaje que tendrán que apagar sus móviles una vez desactivada la red.

En el siguiente diagrama de estados se define el funcionamiento de la GSMOBA.

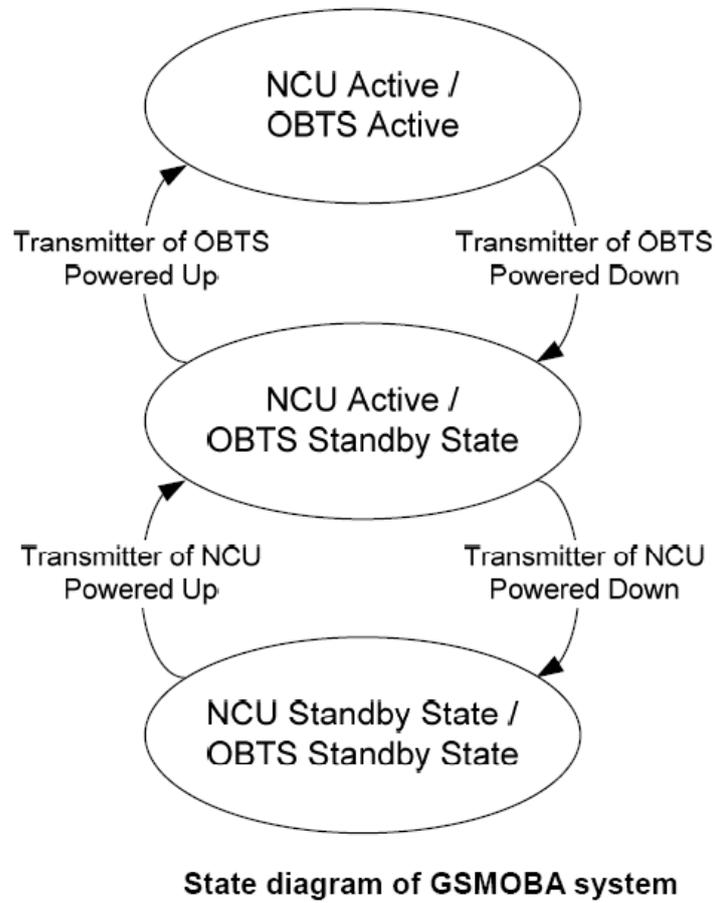


Figura 27. Diagrama de estados de la GSMOBA.

Power spectral density limit

Frequency band (MHz)	460 to 470	921 to 960	1 805 to 1 880	2 110 to 2 170
Reference bandwidth	1,25 MHz	200 kHz	200 kHz	3,84 MHz
Power (dBm within reference bandwidth)	25	20	23	24

Figura 28. Tabla de frecuencias GSMOBA.

Es importante destacar que los equipos utilizados para establecer la red GSMOBA, NCU y OBTS, deben estar elaborados y certificados por fabricantes especializados en equipos de aeronave, y tras su instalación, deberán ser certificados por las autoridades asociando un procedimiento operativo adecuado. Actualmente, dos de los fabricantes más difundidos en el sector para este tipo de soluciones son KID-SYSTEME [63] y Rockwell Collins [65].

KID-SYSTEME es una empresa del grupo Airbus [67] especializada en equipos de aviónica y comunicaciones de aeronave. Rockwell Collins es una empresa norteamericana fabricante de equipos para aeronaves, tanto para aeronaves militares como civiles, siendo uno de los proveedores de tecnología puntera para el Departamento de Defensa de Estados Unidos.

Para concluir este apartado, se incluyen los componentes completos que requiere una GSMOBA en el caso de la propuesta de KID-SYSTEME [63].

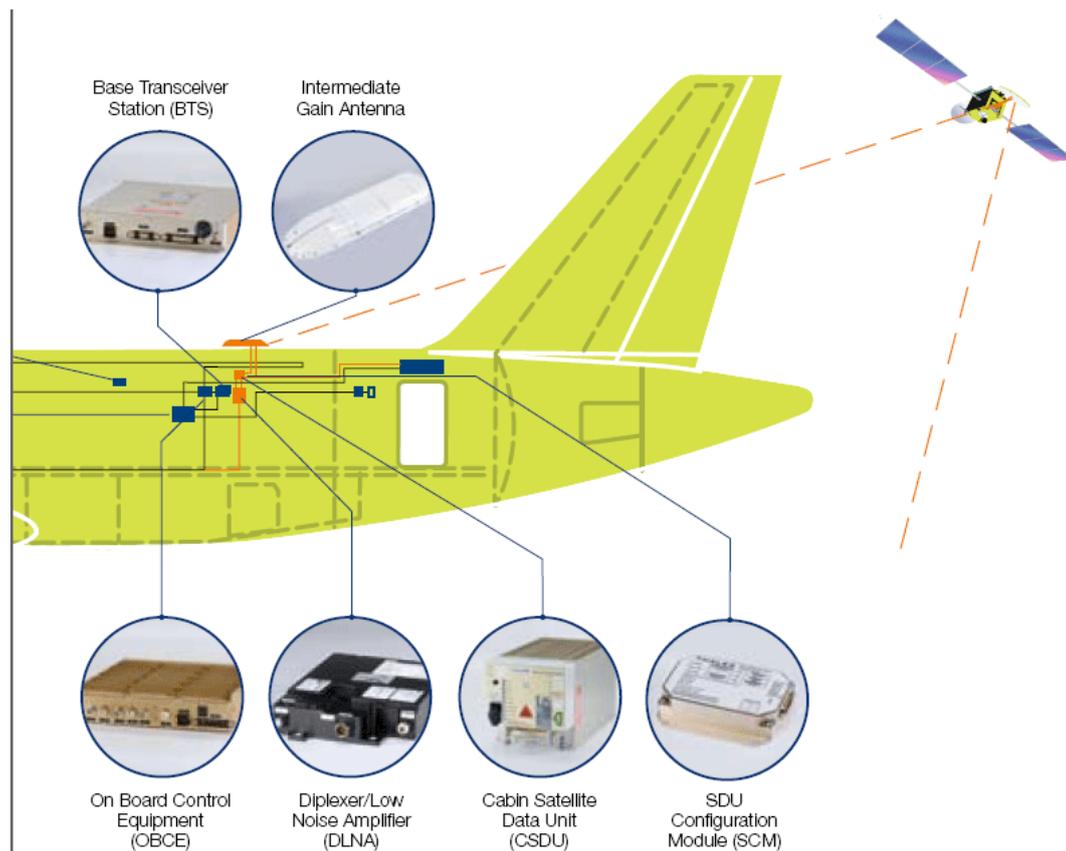
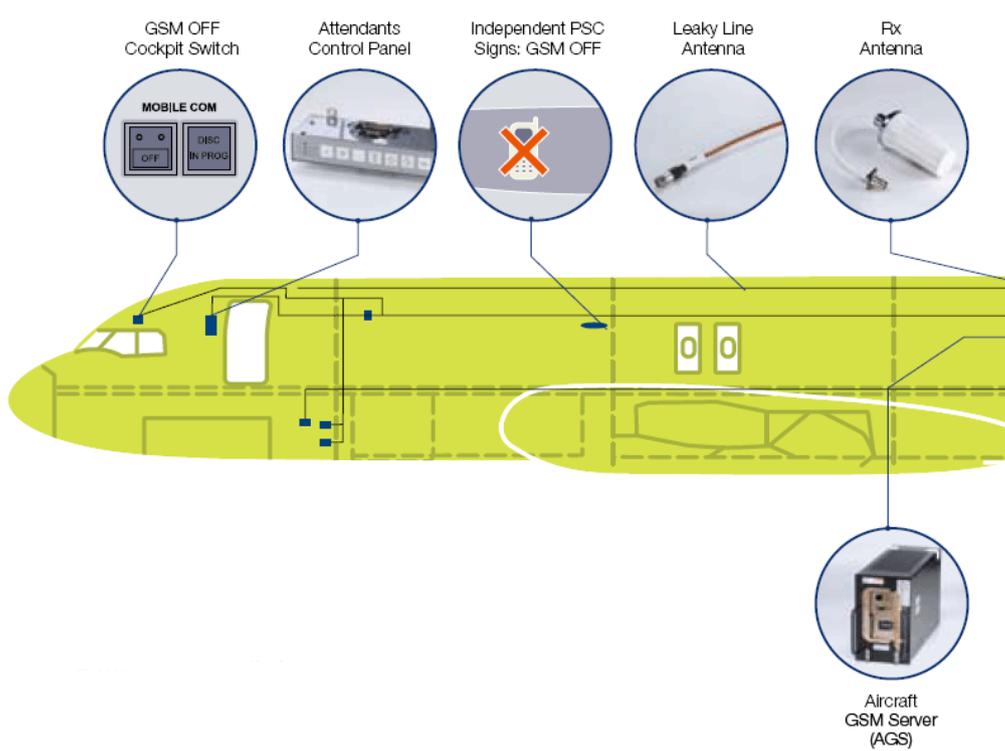


Figura 29. Solución GSMOBA descrita por KID-SYSTEME [63].

5.5 Estado del arte: comunicaciones de datos a bordo.

5.5.1 Servicios de datos para pasajeros.

Debido a que los usuarios cada vez son más multidispositivo (smart phone, PC portátiles, tablets), y estos dispositivos son de tipo radio, una necesidad bastante natural es dotar al pasaje de una solución de telecomunicaciones radio a bordo de la aeronave, utilizando IP.

Como se ha visto a lo largo del capítulo V de este trabajo, contar con una solución de datos permite que los clientes disfruten de sus aplicaciones de forma flexible, pues se les ofrece la comunicación, pudiendo el cliente utilizar esta comunicación en la aplicación que el cliente considere.

Además, esta solución es bastante menos conflictiva que las soluciones de voz, pues cada cliente podrá utilizarla de manera más discreta, en especial si el cliente dispone de auriculares, hecho bastante común entre cualquier pasajero con un dispositivo digital que va a bordo de un transporte público.

5.5.2 Diseño general de la solución.

Los conceptos de diseño de la solución de datos son muy parecidos a los que se han considerado en el capítulo 5.4 de este trabajo, si bien no existe hasta el momento actual ningún estándar de ETSI o del IEEE relativo a la configuración e implantación de una red radio a bordo de una aeronave. Puede ser un trabajo interesante para los investigadores la definición de un estándar para una solución de este tipo.

La solución de datos que mejor se adapta al interior de una aeronave pasa por definir una red de tipo WLAN (wireless LAN), utilizando el estándar IEEE 802.11, que dispone de variantes compatibles de forma que no se produzcan interferencias con la aviónica de la aeronave. Al igual que en el caso de la red GSM/OBA, la tripulación dispondrá en todo momento de un panel de control que active o apague esta WLAN, de forma que se asegure que la WLAN está accesible sólo en la fase de vuelo adecuada (crucero). Como en el caso de la GSM/OBA, existirá un procedimiento operativo para definir este proceso, y la tripulación deberá asegurar que el pasaje apaga sus equipos electrónicos una vez que se ha apagado la WLAN.

Los componentes de la WLAN son [91]:

Antenas. Las antenas son las encargadas del envío y recepción de la señal del satélite. Como se ha descrito en el apartado 5.3.3 (figura 22, figura 21), irán en la parte superior del fuselaje de la aeronave. Estas antenas estarán certificadas por el constructor o el proveedor de la aviónica de la aeronave.

NCU (Network Control Unit). Este equipo se encarga de recibir la señal proveniente de las antenas, así como de enviar la señal que recibe de los Wireless Access Points (WAPs).

WAP (Wireless Access Points). Los WAPs son los “routers inalámbricos” repartidos en la aeronave que permiten a los pasajeros la conexión de sus equipos.

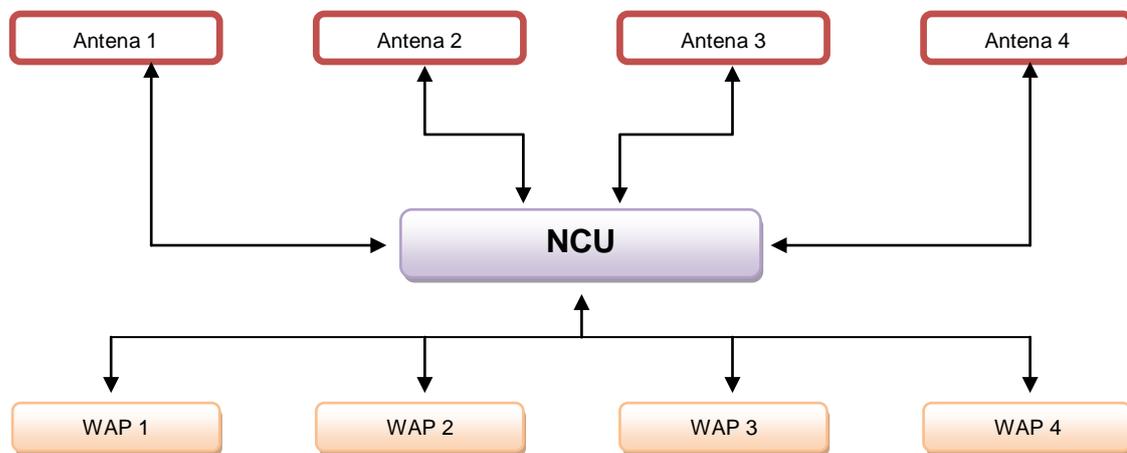
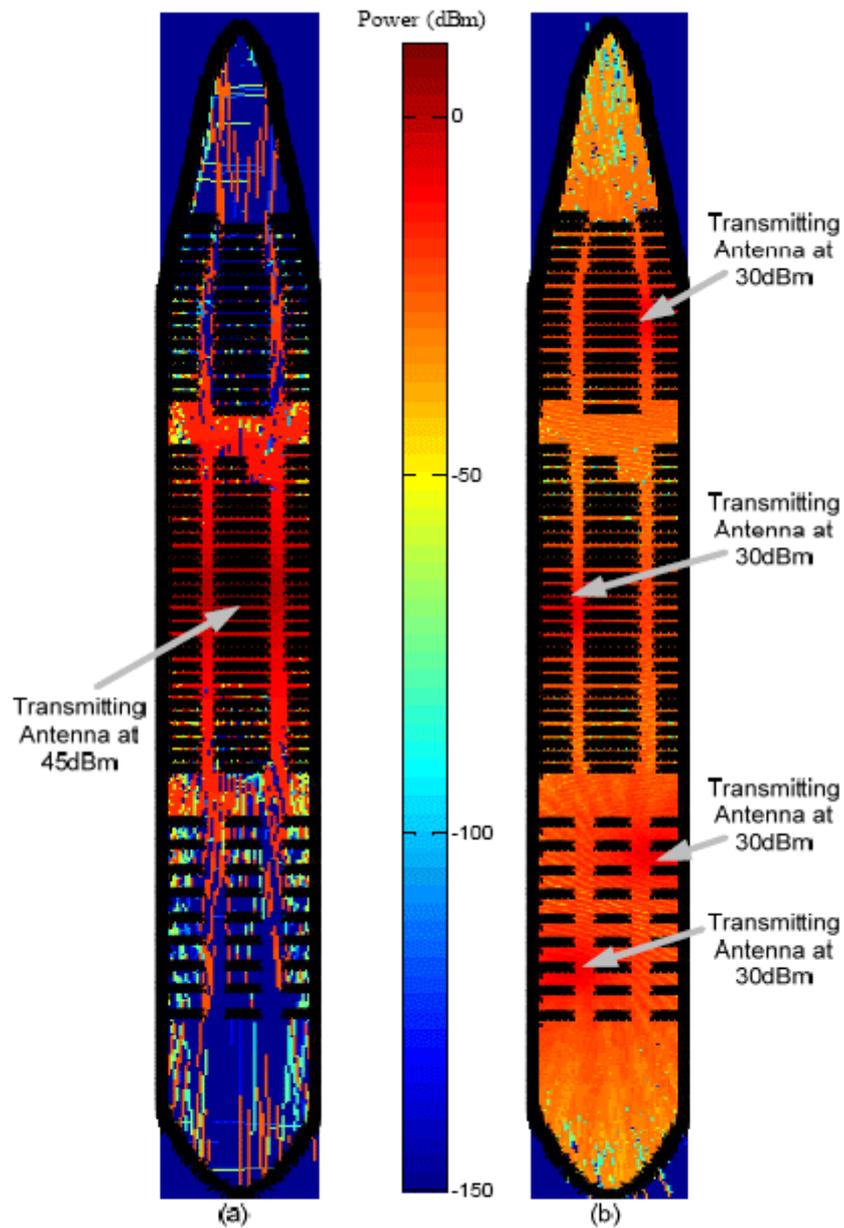


Figura 30. Esquema de funcionamiento de la WLAN a bordo [91].

Los equipos electrónicos utilizados para establecer esta red (NCU y WAPs) deben estar contruidos y certificados por un proveedor adecuado, caso parecido a como se ha visto en la definición de la GSMOBA. Tanto KID-SYSTEME como Rockwell Collins son fabricantes de equipos de este tipo, aunque los equipos a considerar se configurarán en función de la provisión satélite que la compañía aérea disponga, pues existen equipos distintos en función del caudal de bits del proveedor satélite [52,63].

Para el pago por parte del pasajero, los proveedores de servicio dispondrán de una aplicación web que se presenta al pasajero una vez que su equipo detecta la conexión Wi-Fi mediante su dispositivo electrónico [48,53,54]. Esta aplicación web solicitará al pasajero el pago adelantado mediante tarjeta de crédito, adquiriendo el pasajero un paquete de MB por un determinado coste (la típica aplicación de tipo pasarela de pago). Después de que el cliente haya llegado a un tráfico IP del volumen del paquete pagado, se cortará la conexión [48]. Esta aplicación sería una aplicación web estándar tipo pasarela de pago mediante tarjeta de crédito.

Sobre la ubicación en la aeronave de los WAPs, existen varios trabajos que estudian su adecuado posicionamiento de forma que se aporte un buen servicio al pasaje, minimizando las posibilidades de interferencia electromagnética [91,92]. En el caso del trabajo [91], los autores recomiendan utilizar el estándar IEEE 802.11 b, simulando dos casos: a), un WAP de 45 dBm en el centro de la aeronave transmitiendo a 32 W y b), 4 WAPs de 30 dBm transmitiendo a 1 W, situados de forma repartida a lo largo de la aeronave. Los autores concluyen que se logra un buen servicio con un nivel de interferencia controlado en el caso de la opción b).



EM coverage map for the entire fuselage from a) one central transmitting node at 32W, b) four strategically located antennas transmitting at 1W each.

Figura 31. Esquema de ubicación de WAPs para obtener un buen equilibrio entre servicio y minimización de interferencias [91].

5.5.3 Algunas soluciones propuestas por fabricantes.

A continuación se describen algunos de los proveedores punteros a la hora de diseñar soluciones de datos a bordo de la aeronave. Estos proveedores son habituales del mercado aeronáutico, por lo que están acostumbrados a diseñar e implantar soluciones con las certificaciones adecuadas.

- a. **Inmarsat** [52]. Inmarsat es la compañía líder a la hora de proveer servicios satélite para soluciones tanto GSMOBA como WLAN a bordo, ya que es el proveedor satélite que utilizan también los otros integradores de soluciones de este tipo.

Aunque se puede contactar de forma directa con Inmarsat para desplegar este tipo de soluciones, Inmarsat recomienda trabajar con socios estratégicos del sector, como son OnAir, Thales, KID-SYSTEME o Rockwell Collins.

En cualquier caso, se puede asegurar que Inmarsat es el proveedor satélite que cubriría las necesidades demandadas, ya que dispone de varios servicios con diferente caudal de bits, y una cobertura completa, a excepción de las zonas polares.

Key services

Aero H

Multi-channel voice, 10.5kbps data and fax, delivered via a high-gain antenna within the satellites' global beams. ICAO approved for safety services.

Aero H+

Multi-channel voice, 10.5kbps data and fax, delivered via a high-gain antenna within the spot beams of the I-3 satellites at a lower cost per connection. ICAO approved for safety services.

Aero I

Multi-channel voice, 4.8kbps circuit-mode data and fax, delivered via an intermediate-gain antenna. Also supports low-speed packet data. Available in the spot beams of the I-3 satellites. ICAO approved for safety services.

Swift 64

Supports packet data and ISDN at 64kbps per channel. Data rates can be increased to 256kbps through channel bonding and further through data compression. Upgradable to SwiftBroadband. Available in the spot beams of the I-3 satellites.

SwiftBroadband

Offers simultaneous voice and standard IP data up to 432kbps per channel. Currently two channels per aircraft rising to four in 2012. IP data streaming on demand at 32, 64, 128kbps, which can be combined to achieve higher rates. Available through the narrow spot beams across the entire footprint of the I-4 satellites.

Applications

Inmarsat services support a wide range of crew and passenger applications:

Crew

- Safety services – Automatic Dependent Surveillance (ADS), Controller / Pilot Datalink Communications (CPDLC)
- Voice communications
- Electronic flight bag (EFB), flight plan, weather and chart updates
- Engine performance monitoring and fault reporting for major systems
- General operational planning
- Customer relationship information support
- Crew reporting and general administration

Passengers

- Telephony: in-seat, mobile, VoIP and text messaging
- Email, internet, intranet and instant messaging
- In-flight news and entertainment updates

Figura 32. Servicios y aplicaciones ofertados por Inmarsat [52].

Coverage

SwiftBroadband uses the narrow spot beams of the Inmarsat-4 (I-4) satellites. Currently accessible over the Indian and Atlantic Ocean regions, it will be available globally, except the extreme polar regions, following the repositioning of the I-4 satellites.

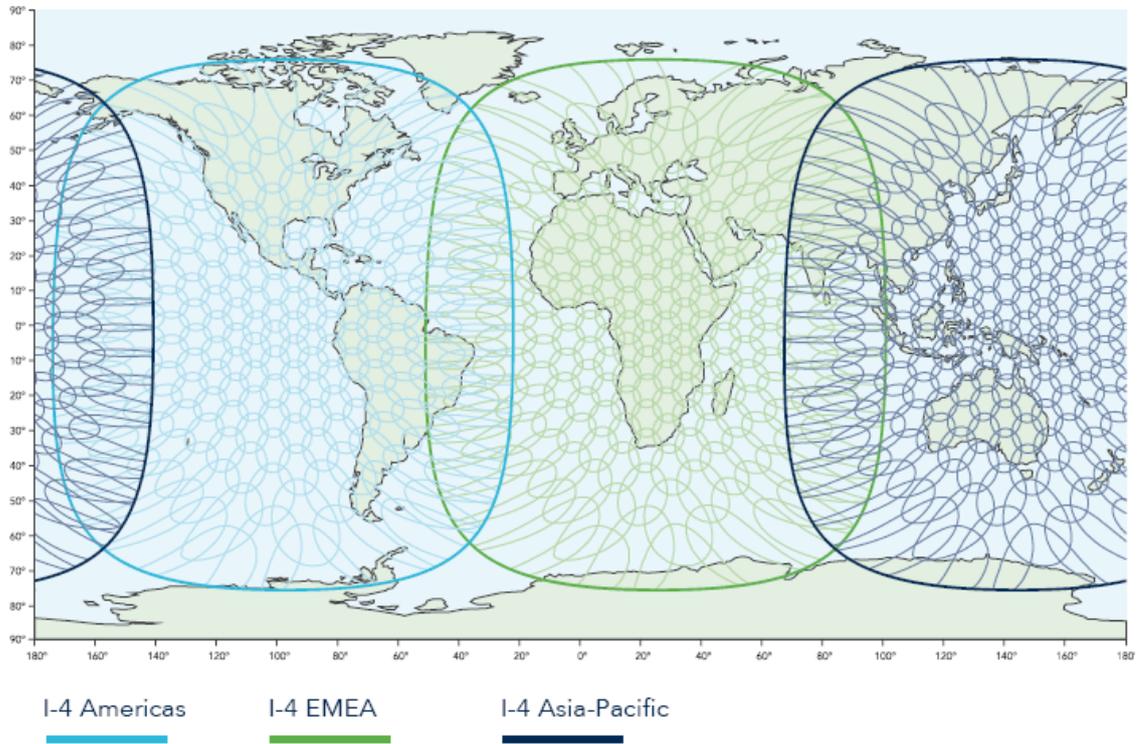


Figura 33. Cobertura de Inmarsat [52].

- b. **On Air** [53]. On Air es una compañía formada por Airbus y SITA, con objeto de ser proveedores de soluciones de telecomunicaciones a bordo de aeronaves.

Debido a la experiencia de Airbus como constructor, y de SITA como especialista en soluciones IT & TELCO para el sector aeronáutico, On Air dispone de una experiencia considerable a la hora de definir e implantar este tipo de soluciones. Como aliado en este tipo de implantaciones, On Air cuenta con los servicios de TriaGnosys [55], empresa alemana especializada en soluciones a bordo, creada por investigadores del DLR alemán.

Como proveedor satélite On Air se apoya en Inmarsat, que ya era socio estratégico de SITA en sus servicios IT & TELCO (como se analizó en el capítulo IV de este trabajo, la red de telecomunicaciones SITA para mensajería ACARS cuenta como proveedor satélite a Inmarsat e Iridium).

The image shows a screenshot of the On Air website. At the top left is the On Air logo with the tagline "Stay connected." To the right is a search bar with a "Submit" button. Below the logo is a navigation menu with links: "WHY ONAIR ? | SOLUTIONS | HOW IT WORKS | SUPPORT SERVICES | PARTNERS | PRESS CENTRE". The main banner features a photograph of two people on an airplane looking at a smartphone, with the text "Differentiate your offer with enhanced inflight services." Below the banner, there is a section titled "Commercial airlines" with a list of services: "Commercial airlines", "VIP aircraft operators", "Maritime", "SwiftBroadband reseller", and "Broadband applications". The main content area has a heading "Commercial airlines" followed by a paragraph: "OnAir provides a one-stop-shop for airlines, bringing together the best combination of proven connectivity services, equipment and installation options to fit airlines' needs. Connectivity provides a differentiator for passengers when choosing an airline. What's more, it provides a revenue stream for airlines too." Below this are two sub-sections: "The connected passenger" and "Additional revenue and CRM services". On the right side, there is a "OnAir news" section with a "Sign up here >" button, a "Newsletter archive" link, and social media icons for LinkedIn, Facebook, and YouTube. At the bottom right, there is a "Latest press releases" section with a "TAM and Oi promote" link.

Figura 34. Servicios para aerolíneas comerciales de On Air [53].

- c. **Thales In Flight Systems** (Thales IFS) [54]. Thales IFS es la división de Thales especializada en soluciones a bordo, tanto de entretenimiento off-line como para soluciones de voz y datos.

Thales IFS está ubicada en Estados Unidos, ya que se formó a partir de la compra de varias compañías especializadas en soluciones in-flight por parte de Thales.

Se podría decir que es el principal competidor de On Air, teniendo en cuenta que On Air tiene como mercado natural Europa y Asia, que son las regiones con más aeronaves de tipo Airbus. Al igual que On Air, el proveedor de conexión satélite es Inmarsat. Thales también es aliado de TriaGnosys.

CAPABILITIES AND SERVICES

• In-seat Messaging

Seatback messaging between people on or off the aircraft. For onboard chat services, private and public forums are available.

• Information Services

In-depth live news with full graphic imagery and interactive destination travel guides with concierge services provide real-time information services to passengers. Targeted custom advertising can be dynamically integrated for airline revenue generation possibilities.

• Real-Time Transactions

Thales offers an exclusive international virtual currency and credit card transaction capability which transmits live encrypted credit card data for immediate processing and payment confirmations.

• Swift Broadband SATCOM

Fully certified, next generation system in a single 6 MCU package which include two Swift broadband channels yielding up to 864 Kbps dual direction bandwidth, integrated HPA and options for cockpit services.



• Connectivity Networks and Systems

Comprehensive onboard connectivity solutions that support passenger WiFi connectivity, voice over IP phone services and embedded IFE connectivity applications.

Figura 35. Servicios de comunicaciones a bordo de Thales IFS [54].

5.6 Ventajas e inconvenientes de las soluciones a bordo actuales.

Como análisis de las soluciones de voz y datos analizadas anteriormente, a continuación se exponen las ventajas e inconvenientes de la tecnología de los sistemas de telecomunicaciones en cabina.

a. Ventajas.

- [1] *Las soluciones, tanto de voz como de datos, son técnicamente viables, existiendo proveedores tanto de los equipos de comunicaciones como de los servicios necesarios para su provisión. Para el caso de voz existe un estándar ETSI [43].*
- [2] *Las soluciones pueden ser activadas y desactivadas en vuelo con procedimientos técnicos y operativos por parte de la tripulación, de forma que en ningún momento comprometen la emisión de interferencias con la aviónica de la aeronave. No obstante, se requiere rigor para exigir y controlar que el pasaje apaga los equipos una vez que la tripulación lo comunica.*
- [3] *Las soluciones descritas permiten que las aerolíneas puedan mejorar el servicio a los pasajeros, de forma que los productos ofertados tengan un valor añadido respecto de la competencia. Además, eliminan una limitación importante de las aeronaves, que es la de ser "islas" en un mundo cada vez más interconectado.*

b. Inconvenientes.

- [1] *Las soluciones descritas ofertan servicios de voz y de datos muy específicos y limitados a un caudal de bits de 432 Kbps, caudal escaso para las aplicaciones futuras, que cada vez exigen más necesidad de caudal. A futuro se precisará mejorar este caudal.*
- [2] *No existe hasta el momento ningún estándar relativo a la configuración de una red WLAN a bordo que permita configurarla directamente evitando incompatibilidades electromagnéticas (en el caso de red GSM/UMTS sí existe especificación de ETSI).*
- [3] *Los costes de implantación siguen siendo altos, lo que hace que su eclosión en el sector de la aviación comercial esté siendo muy lenta.*
- [4] *Los costes para el pasajero son excesivos en comparación de los paquetes que ofertan los proveedores de telecomunicaciones terrestres [48]. Si bien se admite que estos servicios sean más caros que los terrestres, es necesario que la diferencia sea menor, de forma que se pueda percibir como asumible por parte del pasajero. No obstante, es importante tener en cuenta que estas soluciones cubren una necesidad importante para los pasajeros que lo demanden.*

5.7 Caso práctico: servicio de datos para una flota de largo radio.

El objetivo de este supuesto práctico es diseñar el servicio satélite para una flota de aeronaves de largo radio, cubriendo rutas de ida y vuelta entre Madrid y destinos de América del Norte y Central.

5.7.1 Datos de las aeronaves y destinos.

Se parte de una flota de 10 aeronaves de largo radio Airbus A340-600. Este tipo de aeronave es una aeronave de tipo “wide body” con cuatro motores, velocidad media de 850 Km./h, con una capacidad (media) de 340 plazas, con una configuración (media) de 80 plazas para primera clase y 260 plazas de clase económica. La tripulación mínima necesaria serían 2 tripulantes técnicos y 8 tripulantes de cabina de pasajeros, aunque en casos de llevar extracrews (tripulantes en vuelo con actividad no programada) pueden llegar a 4 tripulantes técnicos y 12 de cabina de pasajeros. Sin pérdida de generalidad, la población de usuarios por vuelo sería [67,85]:

- Tripulación: 10
- Pasaje 1ª: 80
- Pasaje 2ª: 260
- Total de usuarios por vuelo: 350 usuarios potenciales.

La idea es que esta flota cubra destinos de largo radio entre Madrid y América del norte y central (corredor del Atlántico Norte). Algunos de estos destinos podrían ser los siguientes:

Origen	Destino	Tiempo medio de vuelo
<i>Madrid</i>	<i>Nueva York</i>	<i>8h 30 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>Miami</i>	<i>9 h 15 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>Chicago</i>	<i>9 h 30 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>Boston</i>	<i>8 h 15 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>Montreal</i>	<i>10 h 15 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>Los Ángeles</i>	<i>12 h 15 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>México DF</i>	<i>11 h 15 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>San José de Costa Rica</i>	<i>11 h</i>
<i>Madrid</i>	<i>Panamá</i>	<i>10 h 30 m</i>
<i>Madrid</i>	<i>Bogotá</i>	<i>10 h 30 m</i>

Tabla 5. Destinos típicos del corredor Atlántico Norte [85].

A la hora de ofrecer servicios de telecomunicaciones durante el vuelo, debe tenerse en cuenta que sólo se puede ofrecer en la fase de crucero, es decir, entre el TOC (top of climb) y el TOD (top of descense), ya que hasta llegar al TOC y desde el TOD los aparatos electrónicos de los pasajeros deben ser apagados. Sin pérdida de generalidad, se puede suponer que el tiempo de despegue hasta TOC y desde TOD hasta aterrizaje ronda los 30 minutos, por lo que el tiempo de servicio a ofrecer (tiempo desde el TOC al TOD) rondará el tiempo medio de vuelo menos una hora.

Teniendo en cuenta la duración de estos vuelos, se puede estimar un número medio de dos vuelos diarios. Nótese que el avión sólo realiza la mínima parada para repostaje, cambio de tripulación y embarque de pasaje y carga, para conseguir realizar la operación de la forma más eficiente.

Por la zona geográfica donde se realizará la operación, las regiones de latitud y longitud a considerar serían las siguientes:



Figura 36. Zona de vuelo de la flota (LAT 10→50° N, LONG 10°→120° W).

5.7.2 Tipos de servicio.

Los servicios de telecomunicaciones a ofrecer serán de datos, pero restringidos a los siguientes: HTTP de tipo ligero y e-mail.

a. HTTP ligero.

Se puede considerar HTTP ligero contenido que se puede obtener mediante navegación web pero descartando la descarga de "contenidos pesados" (imágenes dinámicas, vídeo y audio por HTTP). Debido a que este tipo de servicios requieren bastante ancho de banda, no tiene sentido ofrecerlos en un entorno satélite, donde el ancho de banda es un recurso escaso y que hay que compartir. Este tipo de webs se pueden captar mediante reglas de tipo "proxy": previo acceso del usuario al HTTP, se controla la URL de acceso de forma que sólo se permitirá acceder al usuario en caso de que dicha URL esté registrada en el directorio de accesos permitidos. Es natural pensar que esta técnica es un método de control, pero también debe tenerse en cuenta que los recursos a gestionar son limitados y deben compartirse.

Se parte como modelo de referencia el definido por Gustavo Chafla [94]:

Característica	Valor medio μ	Desviación típica σ
<i>Nº de páginas por sesión web</i>	25 páginas	100 páginas
<i>Tiempo de visión por página</i>	39,5 seg.	92,6 seg.
<i>Tamaño de objeto principal</i>	10 Kbytes	25 Kbytes
<i>Número de objetos por página</i>	5,55	11,4
<i>Tamaño de objetos estáticos</i>	7,7 Kbytes	126 Kbytes
<i>Tamaño de objetos dinámicos</i>	360 bytes	106 bytes

Tabla 6. Modelo de tráfico HTTP [94].

Con los datos anteriores, el tamaño medio de cada página web pedida por el usuario sería de 50 Kbytes, considerando que el usuario navega una media de 25 páginas por sesión [94]. A pesar de que las cifras son de 2002, las páginas HTTP actuales son en esencia, similares o poco más pesadas, ya que la diferencia de carga sería por eventos multimedia, que hemos descartado de antemano. En un trabajo realizado por el DLR en 2004 [48] se toma como referencia los datos de un trabajo de investigadores del AT&T Labs de 2001 [127], que recomiendan como tamaño medio de página 67,5 Kbytes. Para hacer el modelo referenciado en [94] más exigente, se tomará este tamaño de 67,5 Kbytes como media de tamaño de página.

Se puede afirmar, desde el punto de vista de usuario HTTP, que lo más novedoso en los últimos años ha sido la incorporación de aplicaciones de tipo web 2.0, sobre todo las conocidas redes sociales. No obstante, en cuanto a diseño de las páginas web 2.0, estas páginas suelen ser bastante ligeras en cuanto a diseño, si se descartan los eventos multimedia [125]. Un trabajo muy interesante es el realizado por el italiano L.Caviglione en 2009 [126]. En este trabajo, el autor analiza cómo se comporta el tráfico en caso de que un usuario realice el típico “ciclo de navegación” de una red social en un entorno satélite, concluyendo que las variaciones en cuanto a tiempos son más dependientes al navegador que se utilice que a la propia conectividad. En caso de usar navegador Mozilla, el “ciclo de navegación” típico de un usuario de red social se ralentiza bastante, pero en caso de utilizar Chrome o navegador Opera (que son navegadores bastante eficaces usando el caché de elementos estáticos), el ciclo de navegación se ralentiza de forma razonable, concluyendo que se puede navegar en redes sociales con una conexión satélite de forma bastante aceptable.

Considerando lo anterior, los modelos de usuario considerados son:

- **Q1 - usuario de clase económica.** Precisa conectarse durante poco tiempo, a un coste moderado. Tomando el modelo [94] modificado, este usuario se podía caracterizar como un usuario con el perfil de una sesión básica que navega un número medio de 25 páginas por sesión.
- **Q2 - usuario de clase preferente y tripulantes.** Precisa conectarse durante una sesión de duración media, y puede que varias veces durante el vuelo, con un coste mayor. Tomando el modelo [94] actualizado, este usuario se podía caracterizar como un usuario con una sesión media de 50 páginas.

Si se consideran estos datos, la caracterización en cuanto a tiempo de sesión y volumen de contenido a descargar durante está sería el siguiente.

Sesión HTTP	tiempo por página (medio)	Nº de páginas	tiempo de sesión (segundos)	Descarga por usuario (KB)
Q1 - Básica	39,50	25,00	987,50	1687,50
Q2 - Preferente	39,50	50,00	1975,00	3375,00

Tabla 7. Modelado HTTP de perfiles de tráfico.

b. **E-mail.**

La mayoría de usuarios utilizan como e-mail protocolo POP3 ó IMAP. Desde el punto de vista de usuario, es natural considerar que se reciben muchos más mensajes de los que se envían, por lo que la caracterización a utilizar debe tener en cuenta este hecho. En la tesis de Gustavo Chafla [94] se realiza una caracterización del email SMTP, POP3, IMAP, que concluye que más importante que el tamaño que los mensajes es la frecuencia con la que se envían y reciben. Se puede estimar que el usuario recibe 6 veces más mensajes respecto de los que envía. De esa distribución se obtiene la siguiente estimación (suponiendo que los emails recibidos son 6 veces los enviados):

email	Promedio	sesión Q1	sesión Q2
enviados	0,0004	0,40	0,79
recibidos	0,0024	2,37	4,74

Tabla 8. *Ratio de generación y recepción de mensajes.*

En este caso práctico se estudiará email de tipo IMAP. El modelo considerará que cada mensaje consultado es una página más a añadir a los modelos expuestos. Con esta consideración los perfiles de tráfico HTTP y correo integrados serían:

Sesión HTTP + email	Nº Páginas HTTP	Nº Páginas email	Nº Páginas totales	tiempo (segundos)	Descarga por usuario (KB)
Q1 - Básica	25,00	2,77	27,77	1096,72	1874,14
Q2 - Preferente	50,00	5,53	55,53	2193,44	3748,28

Tabla 9. *Datos (medios) de perfil de cada tipo de usuario HTTP y correo.*

c. **Estimación de caudal medio necesario.**

Suponer que se intenta estimar el caudal medio necesario para la flota planteada. El ejercicio a realizar será extender el modelo de usuario de la tabla (9) considerando la flota de las 10 aeronaves durante las 24 h, ya que la operación de las aeronaves no se detiene en ningún momento.

El modelo planteado debe considerar que los clientes potenciales de tipo Q1 y de tipo Q2 tienen una diferencia de expectativa de uso bastante diferente. En el caso del cliente Q1, es un cliente que de querer usar la conectividad, es probable que lo haga más como entretenimiento que por necesidad, por lo que existe una probabilidad menor de que esté dispuesto a pagarla. Sobre el total de clientes de tipo Q1, suponer que el 25% fuera un cliente potencial es un número bastante razonable.

En el caso de un cliente de valor, Q2, la necesidad de conectividad por motivos de negocios es una razón bastante contundente para que la quiera adquirir. De forma parecida, los tripulantes pueden precisar conexión durante algún momento del vuelo por motivos relacionados con labores de la operación, por lo que se considerarán también usuarios de tipo Q2. En este caso se tomará como colectivo potencial el 75% de los usuarios Q2.

Considerando lo anteriormente expuesto, y combinando estos datos con los perfiles definidos en la tabla (9), las necesidades de caudal (medio) serían:

Caudal (Medio)	% de Pasaje	Usuarios por vuelo	Usuarios por flota y día	Descarga total de la flota (KB)	Kbps por Flota	Kbps por Aeronave
Usuarios Q1	25,00%	65	1300	2193750,00	203,13	20,31
Usuarios Q2	75,00%	67,5	1350	4556250,00	421,88	42,19
Caudal Total (Q1+Q2)					625,00	62,50

Tabla 10. Caudal (*medio*) necesario por aeronave en una situación de tráfico medio.

d. Estimación del caudal medio en una situación “de stress”.

Los datos obtenidos en la tabla (10) son para el tráfico medio de todos los usuarios potenciales ponderados, pero conviene saber hasta qué punto se puede disparar la demanda de servicio en una situación de stress, esto es, en una situación en la que haya muchos usuarios demandando el servicio.

Para emular esta situación, se parte del modelo de usuario anterior, pero considerando una situación de uso más extrema. En este caso, se considerará que el porcentaje de usuarios de tipo Q1 es del 50%, y donde el porcentaje de usuarios Q2 es del 90%. A su vez, se supondrá que los usuarios de tipo Q1 descargan el 25% más de contenido respecto a la situación media, y que los usuarios de tipo Q2 descargan el 50% más de contenido respecto de la situación media. Con estos datos, los resultados obtenidos son:

Caudal (con Stress)	% de Pasaje	Usuarios por vuelo	Usuarios por flota y día	Descarga total de la flota (KB)	Kbps por Flota	Kbps por Aeronave
Usuarios Q1 (+ 25% stress)	50,00%	130	2600	6090946,875	563,98	56,40
Usuarios Q2 (+ 50% Stress)	90,00%	72	1440	8096274,00	749,66	74,97
Total (Q1+Q2)					1313,63	131,36

Tabla 11. Caudal (*medio*) necesario por aeronave en una situación de tráfico con stress.

Viendo los resultados de la tabla (10) y de la tabla (11), se deduce que la demanda de tráfico en una situación de stress es bastante considerable respecto de la situación de tráfico medio. Si se comparan los resultados, se tendrían los siguientes factores de variación.

Variación	Stress vs. Media
Variación (usuarios Q1)	2,77
Variación (Usuarios Q2)	1,78

Tabla 12. Comparación de la situación en media y en stress.

Esto es:

- El tráfico Q1 en una situación de stress es 2,77 veces el de la situación de tráfico medio.
- El tráfico Q2 en una situación de stress es 1,78 veces el de la situación de tráfico medio.

Estos factores se tendrán en cuenta a la hora de diseñar la solución a contratar.

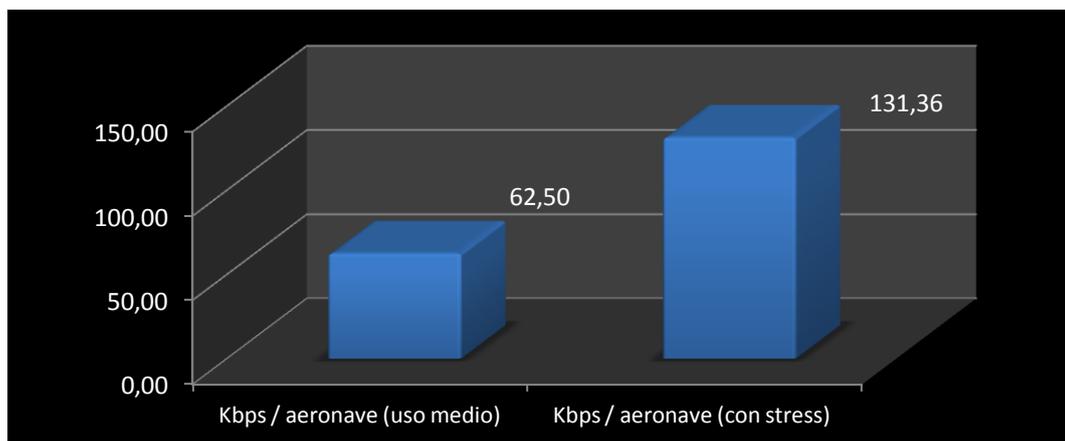


Figura 37. Tráfico (medio) en una situación de uso medio y con stress (por aeronave).

e. **Diseño del servicio.**

Como se ha visto en los apartados anteriores, existe una diferencia considerable entre los tráficos anteriormente analizados, en una situación normal y de stress. La solución planteada debe cubrir posibles casos de stress, para evitar problemas de denegación de servicio.

Consideremos las ofertas de Inmarsat [52]. Inmarsat ofrece la posibilidad de contratar caudales que van desde 864 a 32 Kbps, pasando por 432, 256, 128 y 64 Kbps. La idea es contratar los caudales necesarios que cubran las necesidades planteadas.

Hay que tener en cuenta que el tráfico HTTP debe dimensionarse de manera holgada, ya que no hay un modelo de calidad de servicio que controle los posibles picos de servicio. Según las referencias [121, 122], la recomendación sería contratar al menos 5 veces el caudal medio. Y considerando un posible pico por situación de stress, si se contrata de forma que se cubra este posible pico, se asegura la provisión de servicio para los casos más extremos.

Según los datos obtenidos, se cubriría el caudal necesario contratando un caudal de 432 Kbps y un caudal adicional de 256 Kbps, que en total serían un caudal de 688 Kbps:

Caudales	Kbps / aeronave (Media)	Kbps / aeronave (Stress)	Kbps / aeronave (Contrato)
usuarios Q1	20,31	56,40	N/A
usuarios Q2	42,19	74,97	N/A
Total	62,50	131,36	N/A
Ajuste (x5 veces la media)	312,50	656,82	688,00

Tabla 13. Datos estimados al dimensionar x5 sobre el caudal medio.

Finalmente, en la siguiente figura se puede observar como el servicio contratado cubre de forma solvente los caudales medios y en posibles casos de stress, si se ajusta el caudal necesario estimando que se precisará 5 veces el tráfico medio.

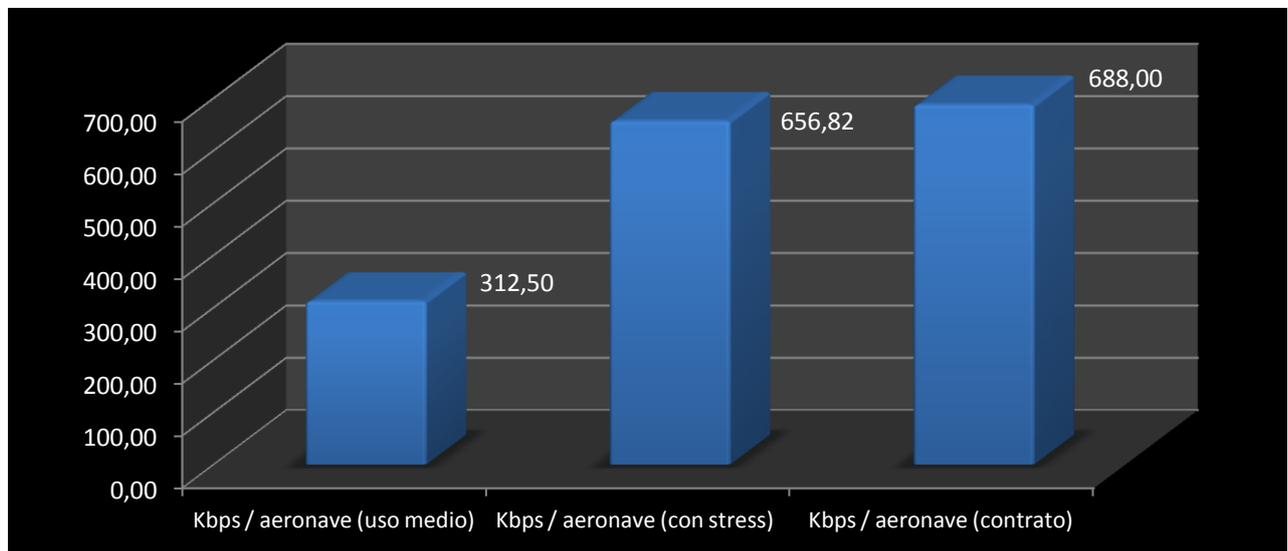
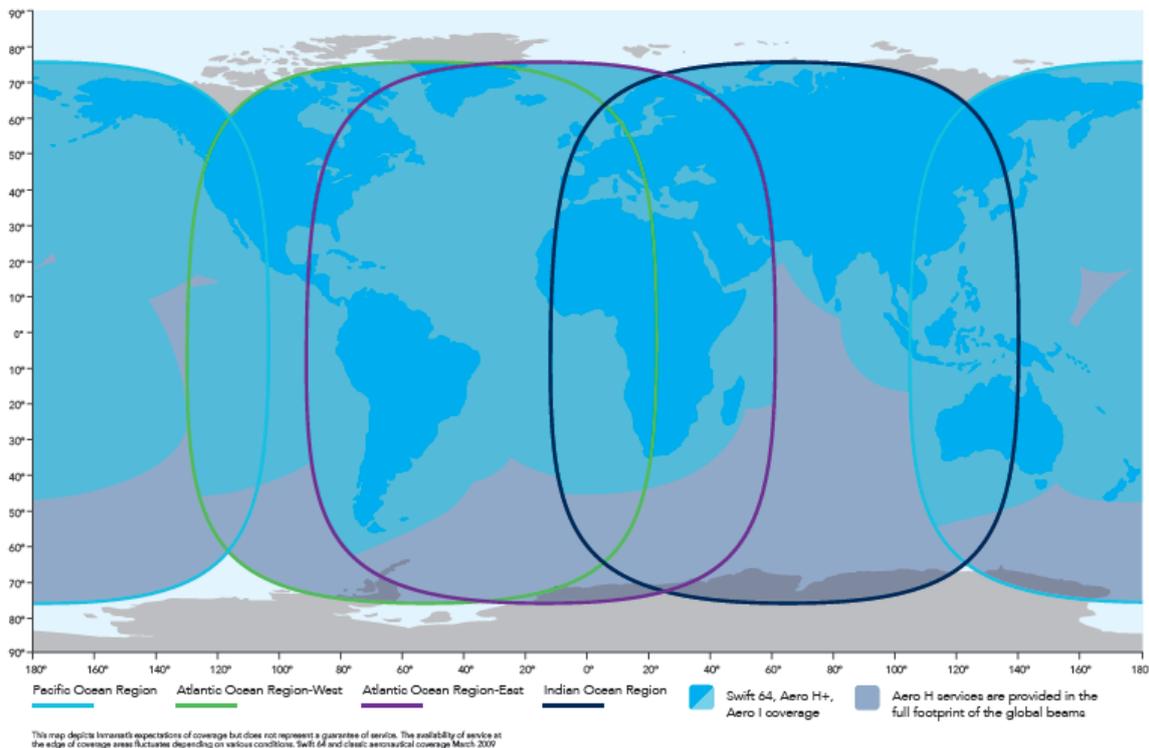


Figura 38. Datos de tráfico medio (x5), en una situación de stress (x5) y con el contrato propuesto.

5.7.3 Cobertura y provisión de servicio.

A la hora de establecer un proveedor para estos servicios, es importante tener dos factores en cuenta:

- Ubicación geográfica.
- Compatibilidad con la electrónica de telecomunicaciones de constructor de la aeronave.



inmarsat.com/coverage



Figura 39. Provisión de servicio Inmarsat [52]. Se observa que cubre perfectamente el corredor del Atlántico Norte.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, el primer punto es asegurar que el diagrama de cobertura es adecuado para la región geográfica estudiada. En este caso, el punto problemático son las latitudes altas (por encima de LAT 50°N). No obstante, Inmarsat [52] dispone de servicio para este escenario mediante su sistema GEO de satélites I-4, que cubre perfectamente el corredor del Atlántico Norte, incluso por encima de LAT 70°N.

El segundo aspecto importante a tener en cuenta es asegurar que la recepción desde la aeronave es compatible con el proveedor de servicio. En el caso de Airbus, la aeronave va dispuesta de 4 antenas satélite y electrónica del fabricante certificado Rockwell Collins [65] o KID-Systeme [63], que han sido certificados para provisión de servicios con el servicio Inmarsat GEO I-4 [53].

De hecho, Airbus participa al 50% en la empresa “OnAir” [53], junto con SITA [40], que es un proveedor de servicios de voz y datos para aerolíneas comerciales y que Airbus suele recomendar como preferente. El resto de proveedores de servicio, como pueden ser Triagnosys [55], Thales IFS [54] o Panasonic Avionics [95], aportan soluciones que, al final, utilizan como proveedor de servicio a Inmarsat con los GEO I-4 [52].

5.7.4 Modelo de tarificación y venta.

Analizado el escenario para los modelos de servicio Q1 (clase económica) y servicio Q2 (clase preferente), es razonable ofrecer la venta o promoción del servicio de conexión de datos HTTP y email mediante dos tipos de bonos:

- a. Bono Q1 para la clase económica:
 - *Volumen de descarga máxima: 3 MB (3000 Kbytes).*
 - *Duración máxima aproximada: 30 minutos.*

- b. Bono Q2 para la clase preferente:
 - *Volumen de descarga máxima: 6 MB (6000 Kbytes).*
 - *Duración máxima aproximada: 60 minutos.*

Los proveedores de este tipo de servicios satélite no tienen publicadas las tarifas, porque son variables en función del número de usuarios y tipos de servicios que se contraten, pero en propuestas y trabajos publicados por el DLR en 2004, M.Werner & M.Holzbock [48] proponen la viabilidad de estos servicios para los proveedores satélite mediante bonos de 5 MB a un coste de 35 Euros (7 €/MB).

Con la reducción de tarifas de los últimos años, podría negociarse con Inmarsat un contrato de forma que los precios rondasen entre los 5 y 6 €/MB, por lo que los bonos propuestos quedarían:

Bono Q1: 3 MB x 6 €/MB = 18 €.

Bono Q2: 6 MB x 6 €/MB = 36 €.

Para la propuesta de venta, existen dos posibles vías, ambas necesarias:

- I. Modelo “**predeparture**”. *Este modelo se basa en que el cliente adquiriera el producto asociado al billete antes de volar, y si es posible, en el mismo proceso de compra del propio billete. Se debería desarrollar un módulo dentro del portal e-commerce de la aerolínea para que el cliente seleccionase el bono que le interesase adquirir, y si fuera posible, pudiendo realizar la adquisición con redención de puntos de una tarjeta de fidelización. Esto dotaría a la aerolínea de una oferta de valor añadido evidente.*

- II. Modelo “**venta a bordo**”. *El método sería comprar el bono cuando el usuario acceda al servicio mediante su dispositivo durante el vuelo, adquiriendo el producto en un proceso estándar e-commerce y pagando con una tarjeta de crédito o débito, y considerando también que el cliente pueda realizar redención de puntos de una tarjeta de fidelización.*

En ambos modelos propuestos se considera la redención de puntos como la forma más ventajosa de poder diferenciar al cliente de valor, ofreciéndole un servicio de valor añadido tanto antes como durante el vuelo.

6 Aplicaciones en aeronaves (II): sistemas de soporte a la operación.

En el siguiente capítulo se analizarán algunos de los sistemas actuales utilizados para la vigilancia de aeronaves, así como algunos nuevos dispositivos que permiten la mejora de la operación, haciéndola más segura y eficiente.

6.1 Conceptos generales de la vigilancia de vuelo.

6.1.1 Plan de vuelo.

Como se describió en el capítulo IV de este trabajo, cualquier operación de vuelo precisa de una previa planificación, que describe los principales aspectos de ésta, con objeto de que pueda ser conocida de antemano por los organismos de control de tráfico aéreo y para la gestión de los recursos de la compañía. Obviamente, esta planificación maneja variables complejas y que suponen costes elevados:

- Número de aeronaves disponibles.
- Mantenimiento y atención en tierra.
- Tripulaciones.
- Combustible.
- Tasas de navegación y aeroportuarias.

En el caso de la disponibilidad de aeronaves y tripulaciones, se puede decir que son variables de entrada de la planificación de vuelos, ya que habitualmente este tipo de planificación de aeronaves y tripulaciones se obtiene mediante lo que se conoce como programa de vuelos de la compañía. El programa de vuelos, tomando como datos las aeronaves y las tripulaciones disponibles, genera los vuelos que se podrán realizar en el periodo de tiempo que se considere. Este programa de vuelos generará una lista de vuelos por día, cada uno de ellos con un origen y destino.

Una vez obtenidos los vuelos con su correspondiente origen y destino, que ya tienen asignada una aeronave de un determinado tipo y su correspondiente tripulación, se supone que el objetivo es completar las plazas disponibles, así como el espacio de carga que hubiera disponible, mediante la oferta comercial de la compañía. Hasta este punto, todo es una labor de organización de recursos para generar beneficios mediante la venta de billetes y/o espacio de carga.

Pero existe un punto muy importante y que diferencia a la aviación comercial de otras actividades terrestres, y esta diferencia es que la ejecución de una operación de despegue en origen y llegada a destino puede verse afectada por numerosos fenómenos que son difíciles de controlar, como son las propias condiciones aerofísicas de la ruta a seguir, que pueden ser tremendamente variables, lo que ocasiona que se deba planificar con un extremo cuidado, más teniendo en cuenta que los organismos que controlan esta actividad son muy exigentes en cuanto a las normas de seguridad. Aquí es donde nace el concepto de “Plan de vuelo” o “Flight Planning” [105].

Los sistemas de plan de vuelo, conocidos en el mundo de la aviación comercial como “Flight Planning Systems” [107] tienen como objetivo planificar la ruta aérea que sigue una aeronave teniendo en cuenta las variables físicas y aerodinámicas (ruta geográfica a seguir y condiciones de meteorología) y las variables económicas (combustible y costes de las aerovías), de forma que se obtenga una ruta óptima: la ruta más segura, de menor duración en tiempo y distancia, con el consumo óptimo de combustible y mínimo coste de tasas aéreas y aeroportuarias. El plan de vuelo de una compañía es vital para realizar una operación tanto segura como rentable, por lo que se considera una de las áreas más críticas e importantes para la actividad.

Existen numerosas compañías tecnológicas que se han especializado creando productos muy competitivos para la gestión óptima del plan de vuelo. Algunas de éstas son Sabre Airline Solutions [96,97] y Lufthansa Systems [98], actuales proveedores dominantes a nivel mundial.

6.1.2 Vigilancia de vuelos.

El plan de vuelo genera la ruta según un sistema de gestión que tiene como objetivo generar una ruta óptima, según las variables comentadas en el capítulo anterior. Pero obviamente, esta ruta planificada puede tener cambios sensibles a la hora de ejecutarla, bien por cambio de las condiciones aerofísicas del vuelo, por cambios obligados por los controles del tráfico aéreo, o por incidencias que impliquen desvíos o cambios en la ruta.

Esto implica que se precise realizar una labor de vigilancia, donde el objetivo es comparar la ruta planificada con la ejecutada, así como realizar el soporte que precise la tripulación, en caso de una incidencia que precisase un protocolo de emergencia [107,108].



Figura 40. Captura del seguimiento gráfico del hub de Miami con "Flight Explorer" [112].

Al igual que en el caso del plan de vuelo, existen varios proveedores de sistemas que permiten realizar un seguimiento on-line de las rutas planificadas, obteniendo los datos de la ruta mediante mensajes de posición del sistema ACARS de la aeronave [ver capítulo IV] y de los radares de tráfico aéreo, y comparando la ruta planificada con la realizada, emitiendo alertas según los conceptos que se hayan definido en el sistema.

Las alertas más frecuentes a programar son las relacionadas con la posición geográfica, combustible, nivel de altura de vuelo y retrasos de tiempo respecto la hora de paso por un determinado punto. Algunos proveedores han llegado a desarrollar sistemas que aportan incluso un seguimiento gráfico de las rutas de las aeronaves, como es el caso de Jeppesen [99] o Flight Explorer [112], dos de los líderes del sector en este tipo de herramientas (figura 41).

6.2 Sistemas de vigilancia. Desafíos pendientes.

El sector del transporte aéreo es el más seguro, tanto por la calidad en la propia construcción y mantenimiento de las aeronaves, como por la gran exigencia de los organismos relacionados con su control (ver capítulo IV). No obstante, alimentado sobre todo por el sector cinematográfico, existe en ocasiones miedo a volar por la posibilidad de sufrir un accidente, o bien porque el avión se pierda en un punto difícil de localizar en el océano o en una zona geográfica aislada. Una de las series de televisión que más ha alimentado este concepto ha sido la exitosa serie “Lost” (Perdidos) [114], que narraba las aventuras de un grupo de supervivientes en una misteriosa isla del Pacífico Sur, que habían llegado a esta isla tras el accidente de un avión de la imaginaria aerolínea “Oceanic Airlines” que cubría la ruta de Sidney (Australia) a Los Ángeles (Estados Unidos).

Pero esto no sólo es alimentado por la ficción. En el año 2009 se produjo un hecho que conmocionó al sector, y que todavía sigue generando polémica y supuso nuevos retos técnicos. Una aeronave de Air France, en concreto, un Airbus A-330, que se encontraba cubriendo la ruta Río de Janeiro (Brasil) a París (Francia) el 31 de mayo, sufrió un accidente en pleno Atlántico, falleciendo todo el pasaje y tripulación [115].

Se tardó bastante tiempo en localizar los restos de la aeronave, y la polémica fue originada porque se perdió contacto al poco de despegar la aeronave, lo que hizo pensar a la opinión pública que Air France no había realizado una adecuada vigilancia del vuelo, o bien que los sistemas de vigilancia de los que disponía no eran suficientemente buenos.

Tal como se describió en el capítulo IV, los radares de control de tráfico aéreo y el sistema de mensajería ACARS de la aeronave permite obtener información de la situación geográfica de ésta, pero en rutas de largo radio que atraviesan regiones oceánicas de gran amplitud pueden existir zonas donde no haya una buena densidad de radares, lo que ocasiona que en esos casos el único sistema de reporte sea el sistema de mensajería ACARS. Y en caso de que el sistema de mensajería ACARS no esté disponible por avería de la unidad ATSU o del FMS de la aeronave, o bien que el proveedor de servicio de comunicaciones ACARS pueda tener una pérdida de cobertura (es un servicio que dispone de comunicaciones VDL, HDL y SATCOM), la aeronave no sería localizable desde tierra. Este pudo ser el caso del vuelo del AF-447 de Air France.

Para estos casos, los constructores aeronáuticos tienen dos posibles vías.

- I. *La primera, se basa en incorporar sistemas satélite a la aeronave que permitan una mayor trazabilidad, equipos ligados a la aeronave y aislados de la tripulación. Aunque esta solución parezca natural, tiene muchas implicaciones técnicas importantes, porque requiere modificar componentes de aviónica y comunicaciones de la aeronave, así como encontrar un proveedor de servicio SATCOM que aporte servicio en la mayor parte de la Tierra. Se verá este aspecto en el capítulo 6.3.*

- II. *La segunda se basa en introducir procedimientos operativos ligados a nuevos equipos electrónicos de los que disponga la tripulación, de forma que los tripulantes y la aeronave dispongan de una comunicación directa, siendo esta comunicación de datos mediante SATCOM. Estos dispositivos son los EFB (“electronic flight bag”) [86,87]. Se desarrollará este punto en el capítulo 6.4.*

6.3 Vigilancia satélite de nueva generación.

Aunque el sistema ACARS dispone de provisión de servicio mediante comunicaciones satélite, en algunos casos la unidad que gestiona estas comunicaciones, la ATSU, puede sufrir una avería, o bien puede ser el proveedor satélite de los ACARS el que tenga una incidencia de servicio. En caso de ser una ruta de largo radio cruzando una zona geográfica aislada o en medio del océano, la única posibilidad de asegurar el servicio de comunicaciones sería mediante satélite.

No obstante, el establecer esta comunicación satélite y su procesado a bordo requieren de un equipo electrónico adicional a los que suelen traer las aeronaves actualmente.

Por lo tanto, esta solución pasa por:

- i. Incorporar un nuevo equipo electrónico a la aeronave y certificarlo.
- ii. Establecer un contrato de provisión de servicio de comunicaciones satélite de gran cobertura mundial, incluso en las regiones más aisladas.
- iii. Desarrollar los sistemas de tierra que permitan gestionar estas comunicaciones de forma que se pueda tener en todo momento la trazabilidad de la aeronave.

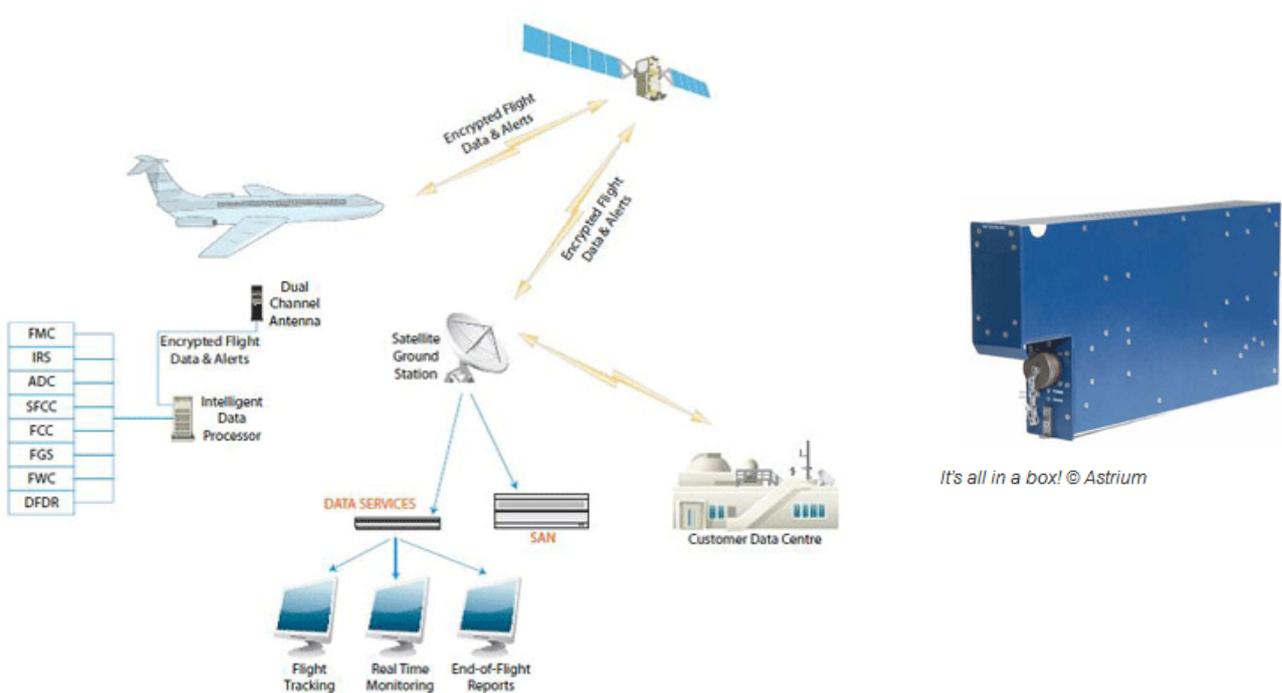
El problema de esta solución es que los requerimientos para desarrollarla son muy exigentes y bastante caros, además de que su posible nicho comercial es reducido, ya que presentará unos costes elevados que muchas aerolíneas no se pueden permitir en un mundo cada vez más competitivo y con ingresos más reducidos.

En el momento actual, la única iniciativa de este tipo que ha sido comercializada ha sido la de EADS Astrium [101], con su producto ADS (Airborne Data Service) [102], que fue presentado en París en julio de 2011. Astrium es una compañía del grupo EADS (European Aeronautic Defence and Space Company) [116], el principal fabricante europeo de tecnología aeronáutica y espacial, dueño también de Airbus, y líder mundial en la industria de tecnología aeroespacial junto con Boeing Company. Astrium es una empresa líder en el desarrollo de tecnología de satélites de nueva generación, siendo su principal mercado la tecnología de defensa. No obstante, este tipo de iniciativas como el ADS pretende abrir mercado en el mundo de la aviación comercial, de forma que Astrium pueda rentabilizar su I+D con diferentes vías de ingresos.

El sistema ADS de Astrium requiere incorporar un equipo electrónico a la aeronave que es el intermediario entre la provisión de servicio satélite y el resto de sistemas de la aeronave. Posteriormente, esta comunicación aeronave-sistema satélite es procesada en tierra mediante aplicaciones específicas de cada actividad de la aeronave, permitiendo obtener información actualizada en periodos de pocos minutos y sin necesidad de contactar con la tripulación.

Este servicio ha sido desarrollado por Astrium en colaboración de la compañía canadiense Star Navigation Systems [103], que ha certificado el servicio siendo el único proveedor a nivel mundial. Star Navigation tiene acuerdos de colaboración a su vez con Arinc, Iridium e Inmarsat.

Desde el punto de vista de puesta en funcionamiento, lo único necesario es que los centros de control de operaciones de las aerolíneas contraten el servicio personalizando los datos relativos a su flota, y Star Navigation proveerá el servicio en modo ASP (application service provider).



The Airborne Data System concept. © Astrium

Figura 41. Equipo electrónico y esquema de funcionamiento del ADS de Astrium [102].

6.4 Equipos de nueva generación para aeronaves.

La solución descrita en la sección 6.3 es viable, pero precisa muchos requerimientos técnicos exigentes, que suponen una inversión considerable que para muchas aerolíneas puede ser problemática. Como alternativa a este tipo de soluciones, puede ser interesante introducir nuevos equipos electrónicos que interactuando con la tripulación, aporten información actualizada a los centros de control de operaciones de las compañías. Este tipo de equipos se conocen en la industria aeronáutica como EFBs (electronic flight bags) [86,87].

6.4.1 Concepto e historia del EFB.

Un EFB es un equipo electrónico que se puede utilizar en la cabina por parte de los pilotos, como soporte a varias labores habituales de la operación. Debe tenerse en cuenta que los pilotos no pueden utilizar ningún equipo electrónico que interfiera con la aviónica de la aeronave, lo que implica que utilizar un equipo de este tipo precise unos requerimientos técnicos muy exigentes: debe certificarse su naturaleza como dispositivo electrónico, así como su uso y aplicaciones por parte de los pilotos.

En los orígenes, el principal punto de arranque de la tecnología EFB era como dispositivo alternativo a los soportes de papel. En la tradición de la aviación comercial, los organismos regulatorios y autoridades internacionales exigen que los pilotos lleven en cada aeronave la documentación que apoya cualquier tarea a realizar, lo que habitualmente se conoce como “cartera de vuelo” (“flight bag”, de ahí el origen del término EFB). Estas carteras son muy voluminosas, pues contienen mucha información detallada y extensa:

- Plan de vuelo.
- Cartografía, información meteorológica.
- Tablas de optimización de despegue, crucero y aterrizaje.
- Manual de procedimientos operativos de la compañía.

Evidentemente, el tamaño y peso de estas carteras es considerable, y motivado también por la necesidad de reducción del uso de papel por motivos de ecología y simplificación de procesos, a finales de los años 90 empezó a barajarse en la industria el uso de versiones electrónicas de las “flight bags”: las “electronic flight bags”.

En ese momento, los equipos a considerar como posibles EFB eran PCs portátiles, ya que, básicamente, no existían otros. Pero el uso de un equipo portátil tiene numerosos inconvenientes, ya que a pesar de su tamaño, no es un equipo fácilmente manejable en la cabina, lo que hacía que, en algunos casos, algunas compañías pensasen que podría suponer incluso un peligro para la operación, por estorbar al piloto en sus labores de pilotaje, o bien porque en un movimiento brusco o caída afectase a otros dispositivos de la cabina.

Esto hizo que muchas iniciativas de tipo EFB se aparcasen, hasta que ha surgido con fuerza el fenómeno de las tabletas digitales, motivado sobre todo por el éxito comercial del iPad de Apple [117], comercializado desde primeros de 2010. La ventaja de los dispositivos portátiles de tipo tablet es que tienen, en la práctica, casi la potencia de un equipo PC portátil, siendo mucho más compactas, ligeras y manejables, ya que no precisan teclados y todas las interacciones con las aplicaciones se realiza con funciones mediante teclados y eventos táctiles. Desde el lanzamiento de las tablets en 2010, y sobre todo con el éxito del iPad, la industria del EFB está viviendo un nuevo impulso [86, 87].

La propia forma de usar un EFB ha propiciado la necesidad de clasificar los EFB por tipos según su uso en cabina (clase), así como por la naturaleza de las aplicaciones que pueden ejecutar (tipo). Estas clases EFB son la 1, 2 y 3, y por tipo de aplicaciones las tipo A, B y C [86, 87].

- **EFB Clase 1.** Un EFB clase 1 es un equipo electrónico portátil estándar del mercado, como un PED de los descritos en el capítulo V. Estos equipos sólo pueden ejecutar aplicaciones de tipo A y B y no se pueden utilizar en fases críticas de la operación, a menos que se certifiquen. Este equipo clase 1 no va conectado ni a tomas de energía ni a las comunicaciones de la aeronave (aunque puede tener conexión 3G o Wi-Fi como un PED estándar).

- **EFB Clase 2.** Un EFB clase 2 es un equipo electrónico portátil estándar del mercado modificado para poseer un anclaje en la cabina de los pilotos, pudiendo estar conectado a la toma de energía de la aeronave, y que permite tratarse como un equipo portátil ya que se puede quitar del anclaje del avión. Este EFB Clase 2 podrá conectarse a las comunicaciones y otras computadoras de la aeronave siempre que disponga de una certificación que lo avale. En el caso de Estados Unidos, esta certificación está definida por la FAA (Order 8900.1, Volume 4, Chapter 15) [118]. Un EFB clase 2 que sólo pueda conectarse a la toma de energía de la aeronave sería un EFB clase 1 con anclaje. En caso de que se certifique para admitir comunicaciones y conexión con otras computadoras de la aeronave, un EFB clase 2 admitiría la instalación de aplicaciones tipo C.
- **EFB Clase 3.** Un EFB clase 3 es un equipo electrónico que está integrado en la cabina de la aeronave, conectado a los sistemas de energía, computación y comunicaciones de la aeronave, y cumpliendo reglamentaciones tanto de diseño hardware y software como de aeronavegabilidad. Este tipo de EFB se diseña por el constructor de la aeronave o por un proveedor especializado de equipos de aeronaves, ya que lo natural es que esté certificado como un equipo más de la aeronave. La certificación de un EFB Clase 3 permite usarlo durante todas las fases del vuelo y con todo tipo de aplicaciones, si bien no es un equipo portátil.

Los tipos de aplicaciones EFB son:

- **Tipo A.** Aplicaciones que permiten de consulta de documentación estática, esto es, formatos digitales de documentos que tradicionalmente se distribuían en papel. Generalmente, son aplicaciones que permiten navegar por documentación en formatos documentales estáticos como puede ser formato PDF.
- **Tipo B.** Aplicaciones que permiten consultar información de tipo gráfico, como puede ser la cartografía o los planos de aeropuertos. Estas aplicaciones permiten hacer zoom en las imágenes, así como obtener información de puntos significativos de los gráficos.

- **Tipo C.** Aplicaciones que permiten optimizar procedimientos de despegue, aterrizaje, crucero, tomando como datos de entrada los que aporta la aeronave, así como aplicaciones que permiten el control de diferentes procesos ligados al desarrollo del vuelo (consumo de combustible, datos de meteorología, posición geográfica). Estas aplicaciones están orientadas a EFB Clase 3, aunque se podrían montar en un clase 2 adecuadamente certificado. Las aplicaciones de tipo C son las que más contribuyen a la operación, y pueden permitir el desarrollo de sistemas de vigilancia alternativos a los actuales.

6.4.2 Posibilidades de los EFB.

Analizando lo expuesto en el capítulo anterior, es natural pensar que los EFB pueden ser un soporte que mejore la operación, si a sus aplicaciones se les añade la posibilidad de conexión a internet mediante una instalación WIFI a bordo de la aeronave. Algunos de los desafíos pendientes por la industria son los siguientes.

- i. Actualización de documentación on-line.

Un EFB dispone de la documentación en formato digital, pero cuando esta información sufre actualizaciones, precisa que los pilotos carguen la última versión de la documentación cuando están en tierra, lo que ocasiona, en la mayoría de ocasiones, en que sea muy difícil que el piloto disponga de la documentación actualizada con la misma frecuencia que se realiza en tierra.

Para la documentación en formato papel, las compañías siguen distribuyendo las actualizaciones y cargándolas en las aeronaves cada vez que se actualizan, pero este proceso es costoso y requiere muchos medios técnicos y humanos, por lo que generar una alternativa electrónica pasa por asegurar que la actualización electrónica se distribuya de forma inmediata a todos los dispositivos.

Esta alternativa pasa por desarrollar aplicaciones que permitan sincronizar la versión “central” de la documentación, residente en un servidor, con las versiones portátiles que tendrían los pilotos en sus dispositivos EFB, a través de internet. De esta forma, el piloto podría sincronizar los contenidos en tierra vía 3G o Wifi estándar, y en la fase de crucero en vuelo mediante una conexión vía satélite. Como los contenidos pueden ser voluminosos, puede tener sentido diseñar una distribución de contenidos vía satélite multicast. No obstante, esto implica desarrollar de forma óptima el sistema que controla las versiones de los contenidos, para después negociar con el proveedor satélite la distribución multicast adecuada.

ii. Comunicación directa con la tripulación.

Otra de las aplicaciones directas de un EFB con conexión satélite en la fase de crucero es que permitiría desarrollar aplicaciones que permitan una conexión directa con los pilotos, como puede ser un sistema de mensajería simple.

Actualmente, esta comunicación se puede realizar mediante radiofrecuencia, teléfono vía satélite o mediante mensajería ACARS, pero puede haber momentos en los que una comunicación de voz no sea necesaria, y en caso de enviar o recibir mensajes de texto libre ACARS, es complicado escribir en la unidad FMS, pues dispone de un teclado muy incómodo y que no es tipo qwerty.

Con un EFB, que dispone de teclado qwerty y es mucho más visual y fácil de usar, es mucho más viable poder comunicar mensajes a los pilotos, así como que los pilotos envíen mensajes al centro de control de operaciones de la compañía.

iii. Vigilancia on-line e interactiva.

El sistema de vigilancia descrito en el capítulo 6.3 precisa un equipo a bordo aislado de la tripulación. En el caso de un EFB conectado a las comunicaciones y computadoras a bordo, con comunicaciones satélite en la fase de crucero, desarrollando la aplicación adecuada, se puede obtener información de la aeronave, así como obtener alertas, y además, involucrar en este proceso a los pilotos, solicitándoles información o que interactúen cuando se precise.

Esta solución combina lo expuesto en 6.3 y en 6.4.2.ii, obteniendo un sistema de vigilancia on-line que mejora sensiblemente los actuales, con la ventaja de interactuar con la tripulación.

6.4.3 Algunas soluciones EFB comercializadas.

- a. **Airbus FAS (Fly Smart with Airbus).** Airbus comercializa en el A-350 y en el A-380 soluciones EFB Clase 3, con sus aplicaciones Airbus tipo A, B y C [104].



Figura 42. Cockpit de un A350 con EFB (teclado táctil) [67].



Figura 43. Cockpit de un A380 con EFB (teclado físico extraíble) [67].

- b. **Lufthansa Systems.** Lufthansa comercializa un EFB que puede ser clase 1, 2 ó 3, según las necesidades de la aerolínea [119].



Figura 44. EFB de Lufthansa Systems [119].

- c. **Jeppesen** [99]. Esta compañía, propiedad de Boeing, desarrolla numerosas soluciones para la industria aeronáutica, siendo uno de los principales proveedores de software tipo EFB tomando como plataforma el Apple iPad.

A Paperless Flight Charting Revolution for Your Personal iPad or Tablet

Our Mobile FliteDeck application is once again transforming general and business aviation with the industry's first interactive mobile enroute flight application. No matter where you are, we can help you transition to a paperless enroute solution while delivering the quality flight data that pilots have come to expect from Jeppesen. Features include:

- Class-leading vector map imaging and rendering
- Direct access to genuine Jeppesen enroute chart data
- Airway manual text scaled to your subscription area
- A robust global chart library with document integration
- Data driven up-to-date IFR and VFR terminal charts regardless of connectivity
- Advanced route planning with rubberbanding functionality and the ability to add user way points
- New lock button to lock the screen on a particular view

You will benefit from immediate access to reliable, accurate information, improved situational and operational awareness, and an efficient and more streamlined flight process to help maintain and enhance overall flight safety.

For customers with an existing Jeppesen electronic flight charting subscription, you can now transition to a true paper-replacement solution directly through your iPad, Tablet, or Android enabled device. If you are not currently a Jeppesen electronic charting subscriber, please visit our [JeppView information page](#), or our [NavSuite information page](#) to learn more about electronic flight chart products and aviation navigation services available from Jeppesen.



Figura 45. Aplicaciones EFB para iPad de Jeppesen [99].

- d. **Aviobook** [100]. Aviobook es una compañía de los países bajos que está desarrollando soluciones EFB con un dispositivo propio, o bien tomando como base el iPad.

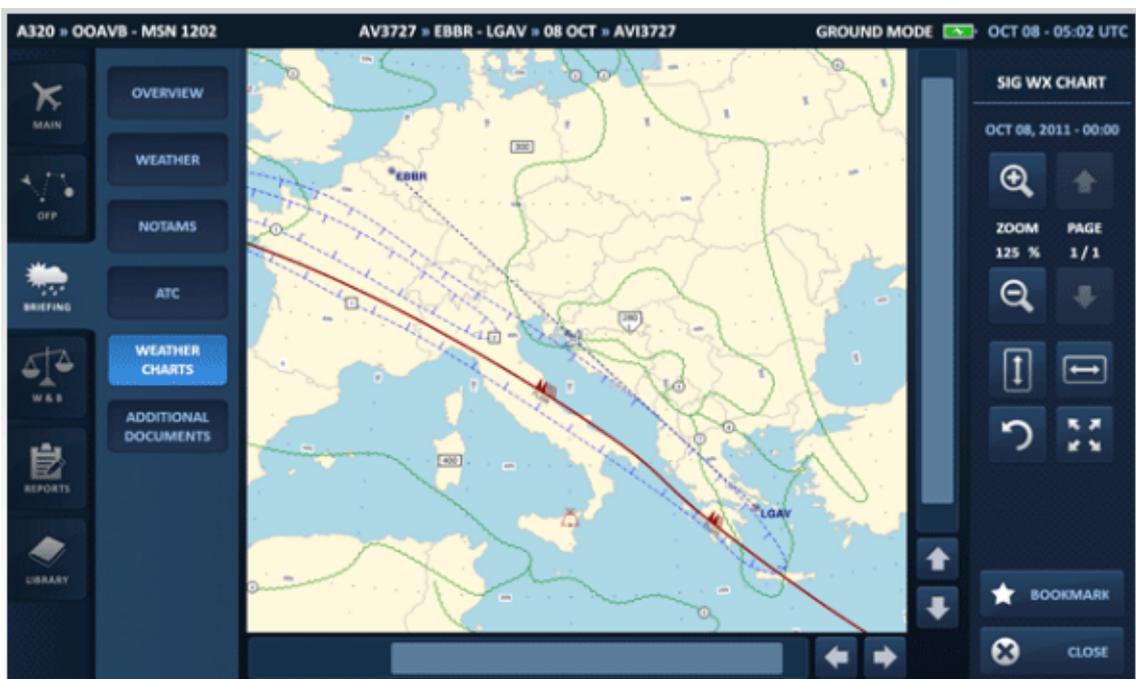


Figura 46. Aplicaciones EFB de Aviobook [100].

- e. **EFB de American Airlines** [120]. American Airlines ha logrado obtener la autorización de la FAA para la utilización de un EFB basado en iPad de clase 2 con posibilidad de utilizar aplicaciones tipo C. Esta autorización se obtuvo en diciembre de 2011, para todas las fases del vuelo.



Figura 47. EFB de American Airlines en un Boeing 777 [120].

7 Conclusiones y trabajos futuros.

El objetivo del autor ha sido presentar en este trabajo el estado del arte de la tecnología satélite respecto de las soluciones que puede aportar a la aeronáutica, y particularmente, a la aviación comercial, tanto para nuevos servicios para el pasaje como en aplicaciones que permitan mejorar la operación, contribuyendo a que esta sea más eficiente y pueda complementarse con la mejor tecnología.

Se ha visto que la tecnología satélite puede permitir la implantación a bordo de soluciones de voz y de datos con proveedores de garantía que ya ofertan los medios necesarios para este tipo de servicios. En el caso de datos, mediante el caso práctico planteado, se ha visto que la solución se puede ajustar a un caso concreto y definir un marco económico que permita al cliente disponer de este servicio. Aunque los costes puedan considerarse caros respecto las soluciones en tierra, debe tenerse en cuenta que disponer de comunicaciones a bordo para muchos clientes es una necesidad considerable que puede compensar el coste del servicio.

Las comunicaciones satélite son un camino necesario para dotar de soluciones tecnológicas de vanguardia a las aeronaves. Aunque en los últimos años la crisis económica mundial limita de manera considerable la posibilidad de invertir, y más en un mundo tan competitivo como el transporte de pasajeros, es obvio reconocer que la demanda de conectividad a internet en las aeronaves es una necesidad que se debe resolver, por lo que tanto investigadores como empresas del sector deben asumir este reto de encontrar una solución económicamente sostenible. También existen muchos procedimientos de operación que se pueden mejorar con los dispositivos de nueva generación para aeronaves, uniendo a la potencia de sus aplicaciones la conectividad internet obtenida por satélite.

Algunos trabajos que podrían desarrollarse en un futuro cercano y que pueden tener aplicaciones directas en el mundo de la aeronáutica pueden ser los siguientes:

1. Desarrollo de nuevos servicios a bordo para pasaje o tripulación que incluyan imagen, sonido y tráfico de datos con calidad de servicio.
2. Desarrollo de aplicaciones on-line que permitan implantar nuevos procedimientos más eficaces para las tripulaciones tanto técnicas como tripulantes de cabina de pasajeros, apoyando estas soluciones en equipos móviles, como pueden ser los móviles tipo "smart phone" o equipos tipo tablet.
3. Desarrollo de aplicaciones que permitan mejorar la eficacia de las operaciones apoyándose en equipos de tipo Electronic Flight Bag (EFB).
4. Desarrollo de sistemas de entrega y actualización de contenidos en vuelo, apoyándose en sistemas de "content delivery" que funcionen en un entorno satélite.
5. Analizar posibles sinergias que puede aportar las tecnologías emergentes de redes de sensores y la internet de las cosas al mundo aeronáutico, apoyando esta tecnología en sistemas de comunicaciones satélite.

Bibliografía

- [1] Z.Sun: "Satellite Networking. Principles and Protocols". Ed. John Wiley & Sons, 2005. ISBN: 0-470-87027-3.
- [2] L.Fan, H.Cruickshank, Z.Sun (Editors): "IP Networking over Next-Generation Satellite Systems". International Workshop, Budapest, July 2007. Ed. Springer. ISBN: 0-387-75427-7.
- [3] M.Tooley, D.Wyatt: "Aircraft Communications and Navigation Systems: Principles, Operation and Maintenance". Ed. Elsevier, 2007. ISBN: 978-0-7506-81377.
- [4] Sampigethaya, K.; Poovendran, R.; Shetty, S.; Davis, T.; Royalty, C.; "Future Enabled Aircraft Communications and Security: The Next 20 Years and Beyond". Proceedings of the IEEE, vol.99, no.11, pp.2040-2055, Nov. 2011.
- [5] Jahn, A.; Holzbock, M.; Muller, J.; Keibel, R.; de Sanctis, M.; Rogoyski, A.; Trachtman, E.; Franzrahe, O.; Werner, M.; Fun Hu: "Evolution of aeronautical communications for personal and multimedia services". Communications Magazine, IEEE, vol.41, no.7, pp. 36- 43, July 2003.
- [6] Lutz, E.; Bischl, H.; Ernst, H.; Giggenbach, D.; Holzbock, M.; Jahn, A.; Werner, M.; "Development and future applications of satellite communications". Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. PIMRC 2004. 15th IEEE International Symposium on, vol.4, no., pp. 2342- 2346 Vol.4, 5-8 Sept. 2004.
- [7] Goyal, P. : "Emerging in-flight end-user needs for entertainment, computing and communications". Fly by Wireless Workshop (FBW), 2011 4th Annual Caneus, vol., no., pp.1-4, 14-17 June 2011.
- [8] A.Jamalipour : "Satellites in IP Networks". Encyclopedia of Telecommunications, Ed. John Wiley and Sons, April 2003.
- [9] D.Wright, L.Grego, L.Gronlund: "The Physics of Space Security. A reference manual". American Academy of Arts and Science, 2005. ISBN: 0-87724-047-7.
- [10] F.J.Ruiz Piñar, C.Miguel Nieto, A.Fernández del Campo: "Redes de datos por satélite". Apuntes de la asignatura de Doctorado/Máster en Ingeniería de Sistemas Telemáticos, curso 2010-2011. E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
- [11] G.X.Chafra. "Contribución al estudio de las redes VSAT multiestrella". Tesis doctoral, 2002. E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.

- [12] J.L.Coya. "Los sistemas de información y telecomunicaciones de la Unidad Militar de Emergencias del Ejército de Tierra". *Resumen del seminario impartido por el Comandante Rodolfo Arroyo de la Rosa, 19/05/2011. Seminarios del Doctorado en Ingeniería de Sistemas Telemáticos, curso 2010-2011. E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.*
- [13] Hispasat {consultado el 15/02/2012}:
<http://www.hispasat.com/Detail.aspx?sectionsId=67&lang=es>
- [14] Estación Espacial Internacional {consultado el 15/02/2012 } :
<http://www.esa.int/esaHS/iss.html>
- [15] Taleb, T.; Hadjadj-Aoul, Y.; Ahmed, T.: "Challenges, opportunities, and solutions for converged satellite and terrestrial networks". *Wireless Communications, IEEE , vol.18, no.1, pp.46-52, February 2011.*
- [16] DVB-S/DVB-S2 (ETSI standard): ETSI EN 302 307 v1.2.1 (2009-08-28).
- [17] DVB-RCS (ETSI standard): ETSI EN 301 790 v1.5.1 (2009-05-13).
- [18] J.L.Coya. "LTE and beyond". *Resumen del seminario impartido por Félix García Fernández, Director de la cuenta global de Telefónica en Alcatel-Lucent, 26/01/2012. Seminarios del Doctorado en Ingeniería de Sistemas Telemáticos, curso 2011-2012. E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.*
- [19] BSM (Broadband Satellite Multimedia): "Functional Architecture for IP internetworking with BSM Satellites" (ETSI Technical Specification TS 102 292 v1.1.1, 2004-02-11).
- [20] BSM (Broadband Satellite Multimedia): "QoS Functional Architecture" (ETSI Technical Specification TS 102 462 v1.1.1, 2006-12-07).
- [21] Yun, A.; Casas, O.; de la Cuesta, B.; Moreno, I.; Solano, A.; Rodriguez, J.M. ; Salas, C.; Jimenez, I.; Rodriguez, E. ; Jalon, A.: "AMERHIS Next Generation Global IP Services in the Space". *ASMS/SPSC 2010 {2010-5th Advanced Satellite Multimedia Systems and the 11th Signal Processing for Space Communications Workshop, IEEE}, Cagliari, September 2010.*
- [22] D.Fernández, L.Bellido : "Temas avanzados de redes de ordenadores". *Apuntes de la asignatura de Doctorado/Máster en Ingeniería de Sistemas Telemáticos, curso 2010-2011. E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.*
- [23] Calculadora MOS/R de la ITU (consultado el 25/02/2012):
<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/index.htm>

- [24] Lloyd Dingle, Mike Tooley: "Aircraft Engineering Principles". Ed. Elsevier, 2005. ISBN: 0-7506-5015-X.
- [25] Mike Tooley: "Aircraft Digital Electronic and Computer Systems. Principles, Operations and Maintenance". Ed. Elsevier, 2007. ISBN 0-7506-8138-1.
- [26] Frederic P. Miller, Agnes F. Vandome, John McBrewster: "Aircraft Communications Addressing and Reporting System". Ed. Alphascript Publishing, 2010. ISBN 978-613-1-84298-6.
- [27] ECAC: <https://www.ecac-ceac.org/home> {consultado el 16/03/2012}
- [28] JAA: <https://jaato.com/page/74/> {consultado el 16/03/2012}
JAR: <https://jaato.com/page/85/> {consultado el 16/03/2012}
- [29] EASA: <http://easa.europa.eu/language/es/home.php> {consultado el 16/03/2012}
- [30] ICAO: <http://www.icao.int/> {consultado el 16/03/2012}
- [31] FAA: <http://www.faa.gov/> {consultado el 16/03/2012}
- [32] IATA: <http://www.iata.org> {consultado el 16/03/2012}
- [33] ACETA: <http://www.aceta.es/> {consultado el 16/03/2012}
- [34] AESA: <http://www.seguridadaerea.es> {consultado el 16/03/2012}
- [35] Dirección General de Aviación Civil – Gobierno de España.
http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/AVIACION_CIVIL/ {consultado el 16/03/2012}
- [36] AENA: <http://www.aena.es> {consultado el 16/03/2012}
- [37] Eurocontrol: <http://www.eurocontrol.int/> {consultado el 16/03/2012}
- [38] ARINC: {consultado el 16/03/2012}
http://www.arinc.com/products/voice_data_comm/acars.html
- [39] SITA: {consultado el 16/03/2012}
<http://www.sita.aero/content/aircraft-operational-communications>
- [40] SkyLAN: "GEO cluster for Advanced Telecom Services" {consultado el 26/03/2012 }.
<http://telecom.esa.int/telecom/www/object/index.cfm?fobjectid=8929>

- [41] MATTHIAS HOLZBOCK. "IP Based User Mobility in Heterogeneous Wireless Satellite-Terrestrial Networks". *Wireless Personal Communications* 24: 219–232, 2003. 2003 Kluwer Academic Publishers.
- [42] ETSI TR 102 631 v1.1.1 (2008-09): "Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); System Reference Document; Technical Characteristics for Airborne In-flight Entertainment Systems operating in the frequency range 5150 MHz to 5850 Mhz".
- [43] ETSI EN 302 480 V1.1.2 (2008-04): "Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters. Harmonized EN for the GSM onboard aircraft system covering the essential requirements of Article 3.2 of the R&TTE Directive".
- [44] JAA Administrative & Guidance Material, Section Four (Operations), Part Three (Temporary Guidance Leaflet (JAR-OPS)), Leaflet NO.29: "Guidance concerning the use of portable electronic devices (PEDs) on board aircraft" (01/10/2011).
- [45] M.Werner, M.Holzbock: "Aeronautical Broadband Communications Via Satellite". Proceedings DGLR-Workshop, Airbus, Hamburg, Germany. PP. 103-116, May 2001. DGLR Report No. 1, 2001/01.
- [46] Werner, M., Holzbock, M.: "System design for aeronautical broadband satellite communications". *Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on* , vol.5, no., pp. 2994- 2998 vol.5, 2002.
- [47] Debono, C.J.; Chetcuti, K.; Bruillot, S.: "802.11a channel parameters characterization on board a business jet". *Aerospace conference, 2009 IEEE* , vol., no., pp.1-9, 7-14 March 2009.
- [48] Unger, P.; Battaglia, L.: "Dynamic behaviour of AirCom Internet users on long-haul North Atlantic flights". *Communications, 2004 IEEE International Conference on* , vol.7, no., pp. 3947- 3952 Vol.7, 20-24 June 2004.
- [49] Medina, D.; Hoffmann, F.; Rossetto, F.; Rokitansky, C.-H.: "Routing in the Airborne Internet". *Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2010* , vol., no., pp.A7-1-A7-10, 11-13 May 2010.
- [50] Medina, D.; Hoffmann, F.; Rossetto, F.; Rokitansky, C.: "North Atlantic Inflight Internet Connectivity via Airborne Mesh Networking". *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE* , vol., no., pp.1-5, 5-8 Sept. 2011.
- [51] Ben Mahmoud, M.S.; Larrieu, N.; Pirovano, A.; Varet, A. : "An adaptive security architecture for future aircraft communications". *Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2010 IEEE/AIAA 29th* , vol., no., pp.3.E.2-1-3.E.2-16, 3-7 Oct. 2010.
- [52] Inmarsat: <http://www.inmarsat.com/> {consultado el 20/04/2011}.
- [53] On Air: <http://www.onair.aero/> {consultado el 20/04/2012}.
- [54] Thales IFS: <http://www.thales-ifs.com/> {consultado el 20/04/2012}.

- [55] TriaGnosys: <http://triagnosys.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [56] Iridium: <http://www.iridium.com/default.aspx> {consultado el 20/04/2012}.
- [57] Marinos, D.; Aidinis, C.; Schmitt, N.; Klaue, J.; Schalk, J.; Pistner, T.; Kouros, P.: "Wireless optical OFDM implementation for aircraft cabin communication links". *Wireless Pervasive Computing (ISWPC), 2010 5th IEEE International Symposium on* , vol., no., pp.465-470, 5-7 May 2010.
- [58] Leipold, F.; Bovelli, S.: "Optimization of node placement and channel allocation in WiMedia networks". *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st International Symposium on* , vol., no., pp.2145-2150, 26-30 Sept. 2010.
- [59] Ayaz, S.; Hoffmann, F.; Sommer, C.; German, R.; Dressler, F.: "Performance Evaluation of Network Mobility Handover over Future Aeronautical Data Link". *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE* , vol., no., pp.1-6, 6-10 Dec. 2010.
- [60] Giuseppe Bianchi et al.: "Design and Validation of QoS Aware Mobile Internet Access Procedures for Heterogeneous Networks". *Mobile Networks and Applications* 8, 11-25, 2003. Kluwer Academic Publishers.
- [61] Akl, A.; Gayraud, T.; Berthou, P.: "Investigating Several Wireless Technologies to Build a Heterogeneous Network for the In-Flight Entertainment System inside an Aircraft Cabin". *Wireless and Mobile Communications (ICWMC), 2010 6th International Conference on* , vol., no., pp.532-537, 20-25 Sept. 2010.
- [62] Sakhaee, E.; Jamalipour, A.: "The Global In-Flight Internet". *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* , vol.24, no.9, pp.1748-1757, Sept. 2006.
- [63] KID SYSTEME: <http://www.kid-systeme.de/> {consultado el 20/04/2012}.
- [64] IEEE 802.11 Standard (2012): "IEEE standard for information technology. Local and Metropolitan Area Networks. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications"(access in the IEEE Xplore Digital Library under subscription or purchasing).
- [65] Rockwell Collins Inc.: <http://www.rockwellcollins.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [66] Wi-Fi Alliance: <http://www.wi-fi.org/> {consultado el 20/04/2012}
- [67] Airbus Industries: <http://www.airbus.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [68] The Boeing Company: <http://www.boeing.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [69] DLR (German Aerospace Centre): <http://www.dlr.de/dlr/en> {consultado el 20/04/2012}.

- [70] J.L.Coya: "Evolución del e-commerce hacia el nuevo escenario de las redes sociales" (16/01/2012). Trabajo de la asignatura "Aplicaciones y Sistemas Colaborativos en la web 2.0", curso 2011-2012. Programa M.Sc./Ph.D. Ingeniería de Sistemas Telemáticos, E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
- [71] International Airlines Group (IAG): <http://www.es.iairgroup.com> {consultado el 20/04/2012}.
- [72] Air France - KLM: <http://www.airfranceklm.com> {consultado el 20/04/2012}.
- [73] Iberia Express: <http://www.iberiaexpress.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [74] Easy Jet: <http://www.easyjet.com/es> {consultado el 20/04/2012}.
- [75] Ryanair: <http://www.ryanair.com/es> {consultado el 20/04/2012}.
- [76] Air Berlin: <http://www.airberlin.com> {consultado el 20/04/2012}.
- [77] Virgin Airlines: <http://www.virgin.com/gateways/virginairlines/> {consultado el 20/04/2012}.
- [78] Emirates: <http://www.emirates.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [79] Saudi Arabian Airlines: <http://www.saudiairlines.com> {consultado el 20/04/2012}.
- [80] Etihad Airways: <http://www.etihadairways.com> {consultado el 20/04/2012}.
- [81] Qatar Airways: <http://www.qatarairways.com> {consultado el 20/04/2012}.
- [82] Qantas: <http://www.qantas.com.au> {consultado el 20/04/2012}.
- [83] AA-BA-IB Joint Business: <http://www.rtve.es/noticias/20101006/iberia-british-airways-american-airlines-firman-su-acuerdo-negocio-conjunto/359477.shtml> {consultado el 20/04/2012}.
- [84] China Eastern: <http://www.flychinaeastern.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [85] Iberia: <http://www.iberia.com/> {consultado el 20/04/2012}.
- [86] Kaminani, S.: "Human computer interaction issues with touch screen interfaces in the flight deck". *Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2011 IEEE/AIAA 30th*, vol., no., pp.6B4-1-6B4-7, 16-20 Oct. 2011.
- [87] Skaves, Peter: "Electronic flight bag (EFB) policy and guidance". *Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2011 IEEE/AIAA 30th*, vol., no., pp.8D1-1-8D1-11, 16-20 Oct. 2011.
- [88] GSM Association: <http://www.gsma.com> {consultado el 20/04/2012}.

- [89] M.Santander: "Introducción al Cálculo Variacional". Apuntes de Física Teórica. Departamento de Física Teórica, Universidad de Valladolid, 2003.
- [90] L.Elsigoltz: "Ecuaciones Diferenciales y Cálculo Variacional" (5ª Edición, 1996). Editorial MIR (Rubiños - 1860, S.A.). ISBN: 84-8041-002-7.
- [91] De Raffaele, C.; Debono, C.J.; Muscat, A.: "Modeling electromagnetic interference generated by a WLAN system onboard commercial aircraft". *MELECON 2010 - 2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference* , vol., no., pp.699-704, 26-28 April 2010.
- [92] Geise, R.; Schüür, J.; Enders, A.: "Design of a WLAN dual band high power divider". *German Microwave Conference, 2010* , vol., no., pp.247-249, 15-17 March 2010.
- [93] Youssef, M.; Vahala, L.; Beggs, J.H.: "Wireless network simulation in aircraft cabins". *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004. IEEE* , vol.3, no., pp. 2223- 2226 Vol.3, 20-25 June 2004.
- [94] Gustavo Chafla: Apéndice A, "Modelos de Tráfico" { "Contribución al estudio de las redes VSAT multiestrella"}. Tesis doctoral, 2002. E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
- [95] Panasonic Avionics: <http://www.panasonic.aero/> {consultado el 24/05/2012}
- [96] Sabre Flywize: <http://www.fwz.aero/> {consultado el 24/05/2012}
- [97] Sabre Airline Solutions: <http://www.sabreairlinesolutions.com/home/> {consultado el 24/05/2012}
- [98] Lufthansa Systems: <http://www.lhsystems.com> {consultado el 24/05/2012}
- [99] Jeppesen: <http://www.jeppesen.com> {consultado el 24/05/2012}
- [100] Aviobook: <http://www.aviobook.aero/> {consultado el 24/05/2012}
- [101] Astrium EADS: <http://www.astrium.eads.net> {consultado el 24/05/2012}
- [102] Astrium Airborne Data Services:
<http://www.astrium.eads.net/node.php?articleid=7819>
{consultado el 24/05/2012}
- [103] Star Navigation: <http://www.star-navigation.com/> {consultado el 24/05/2012}
- [104] Airbus e-solutions: <http://www.airbus.com/support/e-solutions/>
{consultado el 24/05/2012}

- [105] Smith, P.J.; McCoy, E.; Orasanu, J.; Billings, C.; Denning, R.; Rodvold, M.; Van Horn, A.; Gee, T.: "Cooperative problem-solving activities in flight planning and constraints for commercial aircraft," *Systems, Man and Cybernetics, 1995. Intelligent Systems for the 21st Century., IEEE International Conference on* , vol.5, no., pp.4563-4568 vol.5, 22-25 Oct 1995.
- [106] Schoenberg, D.; Jang Ra: "Adopting Project Management Methodologies at Horizon Air Flight Operations," *Management of Engineering and Technology, Portland International Center for* , vol., no., pp.2186-2197, 5-9 Aug. 2007.
- [107] Herndon, A.A.; Cramer, M.; Sprong, K.: "Analysis of advanced Flight Management Systems (FMS), Flight Management Computer (FMC) field observations trials, Radius-to-Fix path terminators," *Digital Avionics Systems Conference, 2008. DASC 2008. IEEE/AIAA 27th* , vol., no., pp.2.A.5-1-2.A.5-15, 26-30 Oct. 2008.
- [108] Eftekari, R.; Chamlou, R.; Kirk, D.: "Airborne Surveillance and Separation Assurance Processing," *Digital Avionics Systems Conference, 2008. DASC 2008. IEEE/AIAA 27th* , vol., no., pp.5.C.1-1-5.C.1-13, 26-30 Oct. 2008.
- [109] Dubet, S.: "Aeronautical information and meteorological data-link services," *Digital Avionics Systems Conference, 2007. DASC '07. IEEE/AIAA 26th* , vol., no., pp.4.B.1-1-4.B.1-9, 21-25 Oct. 2007.
- [110] Belle, A.; Sherry, L.: "Analysis of the contribution of flight plan route selection to delays and conflicts," *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2011* , vol., no., pp.L1-1-L1-9, 10-12 May 2011.
- [111] Wei Zhang; Kamgarpour, M.; Dengfeng Sun; Tomlin, C.J.: "A Hierarchical Flight Planning Framework for Air Traffic Management," *Proceedings of the IEEE* , vol.100, no.1, pp.179-194, Jan. 2012.
- [112] Gang Xiao; Hainan Diao; Zhongliang Jing; Zhang, X.T.: "Integrated Aircraft Environment Surveillance System for large civil aircraft," *Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2011 IEEE/AIAA 30th* , vol., no., pp.1B1-1-1B1-8, 16-20 Oct. 2011.
- [113] Flight Explorer: <http://travel.flightexplorer.com/snapshot.aspx>
{consultado el 26/05/2012}
- [114] "Lost" (Perdidos): <http://www.imdb.es/title/tt0411008/>
{consultado el 26/05/2012}

- [115] Accidente del vuelo AF-447 (Air France) del 31/05/2009:
Accidente:
http://elpais.com/elpais/2009/06/01/actualidad/1243844222_850215.html
Últimos datos:
http://elpais.com/diario/2011/05/28/internacional/1306533604_850215.html
{consultado el 26/05/2012}
- [116] EADS: <http://www.eads.com/eads/int/en.html> {consultado el 26/05/2012}
- [117] Apple iPad: <http://www.apple.com/es/ipad/> {consultado el 27/05/2012}.
- [118] FAA Order 8900.1: Volume 4, Chapter 15: "Electronic Flight Bag Authorization for Use":
<http://fsims.faa.gov/PICResults.aspx?mode=EBookContents>
{consultado el 27/05/2012}.
- [119] Luthansa Systems Flight Deck Solutions.
<http://www.lhsystems.com/solutions-services/airline-solutions-services/flight-deck-solutions.html>
{consultado el 27/05/2012}
- [120] Aircraft Operations IT Journal, Issue 5, Spring 2012: "Case Study: American Airlines, iPad enabled, FAA approved".
<http://www.aircraftit.com/Operations/Index.aspx> {consultado el 02/06/2012}
- [121] David Clark, William Lehr: "Provisioning for Bursty Internet Traffic: implications for Industry and Internet Structure". MIT ITC Workshop on Internet Quality of Service, November, 1999.
- [122] H.Marqués, L.C.D.Rocha, P.H.C.Guerra, J.M.Almeida, W.Meira Jr., V.A.F.Almeida: "Characterizing Broadband User Behavior". Department Of Computer Science, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte (Brazil). Publications of the ACM, October 15, 2004.
- [123] Adtran { <http://www.adtran.com> } : "Defining Broadband Speeds. Deriving Required Capacity in Access Networks". Adtran White Paper, 2009.

- [124] Y. C. Chehadeh; A. Z. Hatahet; A. E. Agamy; M. A. Bamakhrama; S. A. Banawan: "Investigating Distribution of Data of HTTP Traffic: An Empirical Study," *Innovations in Information Technology, 2006* , vol., no., pp.1-5, Nov. 2006.
- [125] Caviglione, L. : "Extending HTTP Models to Web 2.0 Applications: The Case of Social Networks," *Utility and Cloud Computing (UCC), 2011 Fourth IEEE International Conference on* , vol., no., pp.361-365, 5-8 Dec. 2011.
- [126] Caviglione, L.: "Can satellites face trends? The case of Web 2.0," *Satellite and Space Communications, 2009. IWSSC 2009. International Workshop on* , vol., no., pp.446-450, 9-11 Sept. 2009.
- [127] Shankaranarayanan, N.K.; Zhimei Jiang; Mishra, P.; , "User-perceived performance of Web-browsing and interactive data in HFC cable access networks," *Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on* , vol.4, no., pp.1264-1268 vol.4, 2001.
- [128] Fairhurst, G.; Collini-Nocker, B.; Caviglione, L.: "FIRST: Future Internet – a role for satellite technology," *Satellite and Space Communications, 2008. IWSSC 2008. IEEE International Workshop on* , vol., no., pp.160-164, 1-3 Oct. 2008.
- [129] EASA Annual Safety Report (page 2: key facts 2010).

{ consultado el 14/06/2012 }:

<http://easa.europa.eu/communications/docs/annual-safety-review/2010/EASA-Annual-Safety-Review-2010.pdf>

Control de versiones.

- *Autor:* José Luis Coya Lozano.
- *Revisado por:* Dr. Francisco Javier Ruiz Piñar.
- *Fecha:* Viernes, 15 de junio de 2012.